

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma / merenkulkualan insinööri

Jani Lassila

MUOVI ALUKSEN PUTKISTOMATERIAALINA

Insinöörityö 2012

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma

LASSILA, JANI

Insinööri

Työn ohjaaja

Toimeksiantaja

Huhtikuu 2012

Avainsanat

Muovi aluksen putkistomateriaalina

46 sivua + 2 liitesivua

Lehtori Ari Helle

Kymi Technology

muovit, muoviputket, putkistot, laivat, kertamuovi, kesto-
muovi, metallit, korroosio

Opinnäytetyön tarkoituksena on tarjota perustietoa nykyisin putkistokäytössä olevien kesto- ja kertamuovien ominaisuuksista. Tarkasteltavana on myös, kuinka ja miksi muovit soveltuvat tietyssä käytössä perinteisten materiaalien korvaajiksi. Muoviputkille määritettyjen rajoitusten vuoksi siirrettävien nesteiden osalta keskitytään alusten vedenjakelujärjestelmiin sekä veden ja ympäristön vaikutuksiin eri materiaaleissa.

Työssä tutkitaan laivaympäristön vaikutuksia niin perinteisissä kuin uusissakin materiaaleissa. Työn tavoitteena on toimia tukena opetuksessa ja oppimateriaalina. Opinnäytetyössä esitetyt tiedot on perusteiden osalta kerätty alan oppikirjoista ja putkistokäytön tarkastelussa valmistajien tuoteselosteista sekä eri tutkimuslaitosten raporteista.

Muovien rakenteesta johtuu, että niiden ominaisuudet ovat hyvinkin paljon lämpötilasta riippuvaisia ja hiilivetyrakenteensa takia muovit ovat syttyviä. Kemiallisen kestävänsä ansiosta ne kuitenkin kestävät hyvin sellaisia vaihtelevia olosuhteita, joissa monet muut materiaalit pettävät. Ympäristön kannalta muovien pitkäikäisyys on ongelma, mutta putkistokäytössä se on etu. Pitkäikäisyys puolestaan johtaa siihen, että muoviputket voivat asennuksen jälkeen olla parhaimmillaan huoltovapaita. Muovien ominaisuuksien kehitys on johtanut siihen, että niiden käyttö on yleistymässä muun muassa kylmä- ja kuumavesijakelussa, painolasti-putkistoissa sekä jätevesiputkistoissa.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Degree Program in Maritime Technology

LASSILA, JANI

Bachelor's Thesis

Supervisor

Commissioned by

April 2012

Keywords

Plastics as Piping Material on Ships

46 pages + 2 pages of appendices

Ari Helle, Lecturer

Kymi Technology

plastics, plastic pipes, piping, ships, thermosetting, thermoplastic, metals, corrosion

The purpose of this thesis was to present the basics of thermoplastic and thermosetting polymers currently used as piping materials. Also was examined how and why plastic pipes might replace traditional materials in certain applications. Because of regulations concerning the use of plastic pipes on ships, the effects of fluids are limited to those of water.

The aim of the thesis was to provide learning material for marine engineer students concerning metal and plastic piping. The basics of material properties were gathered from educational materials used in the maritime program. The specifics concerning material use in piping systems and lifetime assessment were collected from brochures of various manufacturers and research reports.

Because of the macromolecular structure of plastics, temperature fluctuations affect their properties greatly when compared to steel. Plastics are also ignitable due to their hydrogen carbon basis. Because of their chemical tolerance, plastics endure a variety of environments in which other materials might perish. The longevity of plastic is a problem as a waste product but on the other hand is beneficial when used as an engineering material. At best, plastic pipes may well be maintenance-free, because of their high ductility and the lack of corrosion. The development of the properties of plastics has resulted in them becoming more commonly used in various water-circulating systems on ships.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KÄSITELUETTELO	7
1 JOHDANTO	9
2 KORROOSIO	10
2.1 Yleistä	10
2.2 Korroosiolajit	10
2.2.1 Yleinen korroosio	10
2.2.2 Pistekorroosio	11
2.2.3 Rakokorroosio	11
2.2.4 Galvaaninen korroosio	12
2.2.5 Eroosiokorroosio	12
2.2.6 Kavitaatiokorroosio	12
2.2.7 Jännityskorroosio	13
2.3 Veden ominaisuudet	13
2.3.1 Yleistä	13
2.3.2 Lämpötila	13
2.3.3 Happi ja hiilidioksidi	14
2.3.4 Suolapitoisuus	14
2.3.5 Eliöt ja organismit	15
2.3.6 Saasteet	15
2.4 Jätevesi	16
2.5 Kemikaalit	16
3 PERINTEISET PUTKIMATERIAALIT	16
3.1 Matalaseosteiset teräkset	16
3.2 Ruostumattomat teräkset	17
3.3 Valuraudat	17
3.4 Muut metallit ja metalliseokset	18
3.4.1 Kupari ja kupariseokset	18

3.4.2 Nikkeliseokset ja titaani	19
4 IMO – RESOLUTION A.753 (18) - GUIDELINES FOR THE APPLICATION OF PLASTIC PIPES ON SHIPS	19
4.1 Materiaalin ominaisuudet ja suorituskyky	20
4.2 Materiaalin hyväksyminen ja laaduntarkkailu	20
4.3 Installaatio	20
4.4 Liitteet	21
5 MUOVIT PUTKISTOMATERIAALINA	22
5.1 Yleistä	22
5.2 Muovien teoriaa	22
5.3 ABS	24
5.4 PB	24
5.5 PE	25
5.6 PP	25
5.7 PVC	25
5.8 Lujitemuovi (lasikuitu)	26
5.9 Muovimateriaalien ominaisuuksista	27
5.10 Putket	28
5.11 Liitännät	30
5.11.1 Muovien hitsaaminen	30
5.11.1.1 Kuumakaasuhitsaus	30
5.11.1.2 Pusku- ja muhvihitsaus	30
5.11.1.3 Vastuslankahitsaus	31
5.11.1.4 Sähkömuhvihitsaus	31
5.11.1.5 Lämpösäteilyhitsaus (Infrapunahitsaus)	32
5.11.1.6 Laserhitsaus	32
5.11.2 Liimaus	33
5.11.3 Laminointi	33
5.11.4 Mekaaninen liitäntä	33
5.11.4.1 Muhviliitos	33
5.11.4.2 Puristusliitos	34
5.11.4.3 Laippaliitos	34
5.11.4.4 Kierrelitiös	34

5.12 Venttiilit	35
5.13 Ympäristö, ominaisuudet ja kustannukset	35
6 MUOVIPUTKIEN ELINKAARI	40
6.1 Mittaus ja määrittäminen	40
6.2 Muovirakenteen kestoikään vaikuttavat tekijät	42
7 YHTEENVETO	43
LÄHTEET	45
LIITTEET	
Liite 1. IMO – Guidelines for the application of plastic pipes on ships, Appendix 4 – Fire endurance requirements matrix	

KÄSITELUETTELO

ABS	Akryylnitriilibutadieenistyreeni
CFRP	Hiilikuituvahvisteinen polymeeri (Carbon fiber reinforced polymer)
GFRP	Lasikuituvahvisteinen polymeeri (Glassfiber reinforced polymer)
Homopolymeeri	Yhden monomeerilaadun muodostama polymeeri
IMO	Kansainvälinen merenkulkujärjestö (International Maritime Organisation)
Kopolymeeri	Kahden tai useamman monomeerilajin muodostama polymeeri
Monomeeri	Molekyyli, joka kemiallisesti sitoutumalla muodostaa molekyyliketjun
PB	Polybuteeni (polybutylene)
PE-HD/HDPE	Suurtiheyspolyeteeni (high density polyethylene)
PE-LD/LDPE	Pientiheyspolyeteeni (low density polyethylene)
PE-MD/MDPE	Keskitiheyspolyeteeni (medium density polyethylene)
PN	Nimellispaine
Polymeeri	Hiilivetymolekyylien (monomeerien) muodostama molekyyliketju
PP	Polypropeeni

PVC-C	Jälkikloorattu polyvinyylikloridi (chlorinated polyvinylchloride)
PVC-U	Pehmittämätön kova polyvinyylikloridi (unplasticized polyvinylchloride)
UV	Ultraviolettivalo (ultraviolet light)

1 JOHDANTO

Laivan rakenteet, laitteet ja putkistot joutuvat toimimaan haastavissa olosuhteissa, joissa tunnusomaista on muun muassa laivan keinuminen, värinä sekä korrosoiva meri-ilma. Oman haasteensa tuo aluksen rajallinen tila, ja siksi laitteistojen välillä harvoin esiintyy suoria putkijohtoja. Työskentely- ja koneikkotilat tulee usein kiertää, minkä vuoksi putket voivat paikoin olla hyvinkin vaikeapääsyisiä ja putkistovian korjaamien haastavaa. Tämän vuoksi materiaaleilta ja niiden käsittelyltä vaaditaan luotettavuutta ja vikatilanteessa helppohoitoisuutta.

Muovit ovat laivojen putkistokäytössä melko uusia. Esimerkiksi lujitemuovit otettiin laivanrakennuksessa käyttöön 1970-luvulla. Maapuolen rakennuksissa muovit ovat vallanneet alaa perinteisiltä ratkaisuilta uusien, kestävien muovimateriaalien myötä. Laivakonstruktioissa muovit ovat vielä verrattain vähäisessä käytössä, ja niiden käyttöä ovat rajoittaneet kansainväliset sopimukset sekä luokituslaitosten konservatiivinen luonne. Rajoituksiin ovat johtaneet muovien palamisalttius sekä tietyt perinteisistä putkimateriaaleista eroavat ominaisuudet. Tämän vuoksi muovin käyttö putkistomateriaalina keskittyy pääosin toisiojärjestelmiin, jotka eivät ole laivan kulun kannalta elintärkeitä.

Tässä työssä tutkitaan nykyisin aluksen putkistomateriaalina käytettyjä muovimateriaaleja, niiden ominaisuuksia ja soveltuvuutta laivakäyttöön. Muoviputkille määritettyjen rajoitusten vuoksi siirrettävien nesteiden osalta keskitytään alusten vedenjakelujärjestelmiin sekä veden ja ympäristön vaikutuksiin eri materiaaleissa. Vertailun vuoksi tutkitaan myös putkistomateriaaleina käytettyjä teräksiä ja metalleja, niiden ominaisuuksia sekä käyttäytymistä eri olosuhteiden vaikutusten alaisena.

Perinteisten putkistomateriaalien yleinen ongelma on niiden altistuminen korroosiolle, jonka syyt ja seuraukset ovat monimuotoiset. Teräs- ja metalliputkiston käyttöikä voi lyhentyä hyvinkin nopeasti ja siitä aiheutuu laivan eliniän aikana huomattavia kustannuksia. Ympäristön kannalta muovien pitkäikäisyys on ongelma, mutta putkistokäytössä se on etu. Pitkäikäisyys puolestaan johtaa siihen, että muoviputket voivat asennuksen jälkeen olla parhaimmillaan huoltovapaita. Muovien ominaisuuksien kehitys on johtanut siihen, että niiden käyttö on yleistymässä muun muassa kylmä- ja kuuma-vesijakelussa, painolastiputkistoissa sekä jätevesiputkistoissa.

Yleistymisestä huolimatta muovit ovat edelleen verrattain vähän käytettyjä laivan aineensiirrossa. Työn tavoitteena on tutkia laivaympäristön vaikutuksia niin perinteisissä kuin uusissakin materiaaleissa sekä kerätä yhteen hajallaan olevaa tietoa opiskelija lähdemateriaaliksi.

2 KORROOSIO

2.1 Yleistä

Metalleja käytettäessä on olennaista ottaa huomioon niiden epästabiilisuus eli taipumus korroosioon. Korroosioreaktiossa metalli pyrkii palaamaan puhtaasta muodostaan takaisin yhdistemuotoonsa, josta se on eristetty, kuten oksideikseen tai suoloiksi. Laivan putkistoissa tämä tapahtuu usein elektrolyysin eli sähkökemiallisen korroosioreaktion tuloksena. Elektrolyysissä osallisina ovat elektrolyytti ja siinä metallisessa yhteydessä olevat anodi ja katodi. Anodi vapauttaa metalli-ioneja elektrolyttiin ja syöpyy. Olennaista reaktiossa on katodin ja anodin sähköpotentiaaliero ja sähköinen yhteys. (Suomen korroosioyhdistys 1988, 21-22.)

Laivaympäristössä elektrolyyttinä toimii usein merivesi ja elektrodeina toimii joko yksi tai useampi metalli. Yhden metallin tapauksessa potentiaaliero saattaa johtua esimerkiksi metallin pintaan saostuneesta epäpuhtaudesta. Useamman metallin tapauksessa elektrodipotentiaaliero johtaa siihen, että epäjalompi metalli ”uhrautuu”. Esimerkiksi raudan ja sinkin tapauksessa sinkki toimii anodina. Ilmastollisessa korroosiossa sähköä johtavana nesteinä toimii putken pintaan tiivistynyt vesikerros. Lisäksi ilmassa olevat, veteen saostuneet epäpuhtaudet kiihdyttävät korroosioreaktiota. (Suomen korroosioyhdistys 1988, 21-22.)

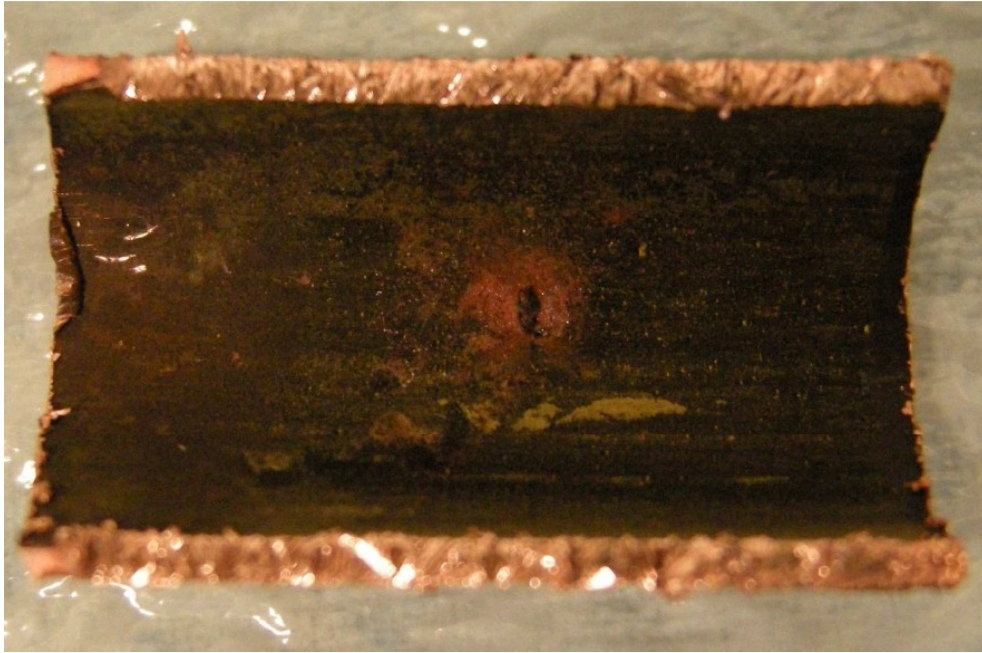
2.2 Korroosiolajit

2.2.1 Yleinen korroosio

Yleisessä syöpymisessä metallin anodi- ja katodipisteet vaihtavat jatkuvasti sijaintiaan ja metalli syöpyy nesteeseen tasaisesti koko alaltaan. Yleinen syöpyminen havaitaan helposti seinämäpaksuuden ohentumisena. Yleistä syöpymistä esiintyy yleisesti suojaamattomien metallien pinnoilla ja se otetaan usein huomioon ylimääräisellä ainevahvuudella. (Suomen korroosioyhdistys 1988, 102.)

2.2.2 Pistekorroosio

Pistekorroosiossa jokin pinnan ominaisuus, kuten paikallinen epätasaisuus tai naarmu, aiheuttaa metalliin paikallisen anodipisteen, jota ympäröivä alue toimii katodina. Metallin pintaan syntyneessä anodipisteessä syntyy metallikloridia, joka reaktiossa veden kanssa tuottaa lisää aggressiivisia ioneja. Ionit kerääntyvät syntyneeseen rakoon ja nopeuttavat korroosiota. (Suomen korroosioyhdistys 1988, 103.)



Kuva 1. Seinämän puhkaissut paikallisen korroosion aiheuttama vaurio kupariputkessa (Vesi- ja viemärilaitosyhdistys 2009).

2.2.3 Rakokorroosio

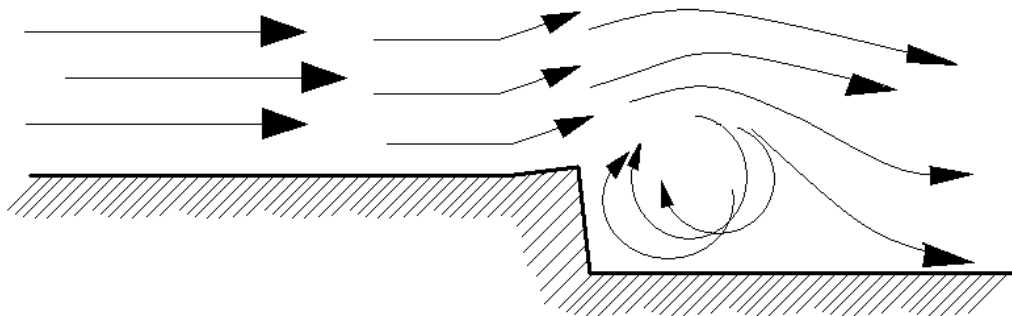
Rakokorroosiota esiintyy metallipinnan raoissa, joissa liuos, kuten merivesi, ei vaihdu. Tällaisia rakoja voi syntyä saostumien ja epäpuhtauksien alle, kahden pinnan välisten liitosten pieniin rakoihin tai tiivisteliitoksiin. Hitaasti vaihtuvan nesteen happipitoisuus alenee ja happiköyhä neste muodostaa anodin. Raossa oleva neste happamoituu reaktioiden tuloksena ja epästabiloi esimerkiksi ruostumattoman teräksen suojakerroksen muodostumista. (Suomen korroosioyhdistys 1988, 107 -109.)

2.2.4 Galvaaninen korroosio

Galvaanisessa korroosiossa liuoksessa olevat kaksi metallia ovat sähköisessä yhteydessä toisiinsa. Korkeamman elektrodipotentiaalin jalompi metalli muodostuu kato-diksi ja sen syöpyminen pysähtyy. Vastaavasti alhaisemman elektrodipotentiaalin epä-jalo metalli muodostuu anodiksi ja syöpyy. (Suomen korroosioyhdistys 1988, 109 - 110.)

2.2.5 Eroosiokorroosio

Eroosiokorroosiossa virtaava neste tai nesteen mukana virtaavat kiinteät partikkelit irrottavat metallin pinnan suojaavia kerroksia. Paljastunut pinta muodostuu tällöin anodiksi. Puhtaan nesteen, kuten veden, tapauksessa eroosio tapahtuu yksin liiallisen virtausnopeuden ja pyörteisen virtauksen vuoksi (kuva2). Pyörteisessä virtauksessa häiriökohtaan muodostuu paikallinen kriittisen nopeuden ylittävä kohta, joka ylittää passiivikerroksen kestonajan. Pyörteisiä virtauksia voi esiintyä esimerkiksi putkien mutkissa ja haaraumissa. (Suomen korroosioyhdistys 1988, 110.)



Kuva 2. Liiallisen virtausnopeuden ja pinnan epätasaisuuden aiheuttama pyörteinen virtaus (Suomen korroosioyhdistys 1988, 113).

2.2.6 Kavitaatiokorroosio

Kavitaatiokorroosiota saattaa putkistoissa aiheuttaa erityisen voimakas virtausnopeus ja paineenvaihtelut. Kavitaatiossa nesteeseen muodostunut kaasukupla luhistuu ja se aiheuttaa voimakkaan paineiskun. Paineiskun vaikutuksesta metallin passiivikerros rikkoutuu. (Häkkinen 1999, 25.)

2.2.7 Jännityskorroosio

Metallin käsittelyn, kemiallisen reaktion, mekaanisen kuormituksen tai olosuhteiden muutoksista saattaa kappaleen rakenteeseen syntyä sisäisiä jännityksiä. Jännitysvoimat voivat olla vahvuudeltaan metallin myötölujuuden ylittäviä ja saattavat aiheuttaa murtumia. Eri materiaaleilla jännityskorroosion mekanismit ovat erilaisia, mutta esimerkiksi messingillä sen rakenteen rikkova jännitys voi tapahtua jo ilmassa olevan ammoniakkin vaikutuksesta. (Suomen korroosioyhdistys 1988, 117 – 119.)

2.3 Veden ominaisuudet

2.3.1 Yleistä

Laivakäytössä meri- ja makeavesi ovat monipuolisessa käytössä. Merivettä käytetään muun muassa palontorjuntaan, jäähdytykseen, painolastina ja makeanveden kehitykseen. Makeavesi käsittää talous-, saniteetti-, juomaveden ja teknisen veden. Musta ja harmaa vesi ovat laivakäytössä esiintyviä jätevesiä.

Meriveden suolapitoisuus vaihtelee maantieteellisen sijainnin mukaan trooppisten alueiden yli 3,6 prosentista Itämeren alle 0,7 prosenttiin. Suolapitoisuuden lisäksi meriveden ominaisuuksiin vaikuttavat esimerkiksi elävät organismit, happipitoisuus ja satama-alueiden saasteet. Lähes kaikilla metalleilla esiintyy jonkin asteista syöpymää merivedessä. (Häkkinen 1999, 21-23.)

2.3.2 Lämpötila

Veden ominaisuudet muuttuvat sen lämpötilan kohotessa. Muun muassa veden sähkönjohtavuus paranee ja hapen liukoisuus pienenee korkeassa lämpötilassa. Veden sähkönjohtavuus voi kasvaa jopa 2 % yhtä celsiusastetta kohti. Meriveden lämpötilan ollessa yli 45 °C saattavat sen sisältämät suolat saostua putkien seinämiin. Veden lämpötilan kohoaminen muuttaa myös siinä yhteydessä olevien metallien elektrodipotentiaalia. Lämpötilan vaikutus eri metalleihin on erilainen, minkä vuoksi esimerkiksi sinkki muodostuu terästä jalommaksi noin 70 °C lämpötilassa. (Suomen korroosioyhdistys 1988, 255.)

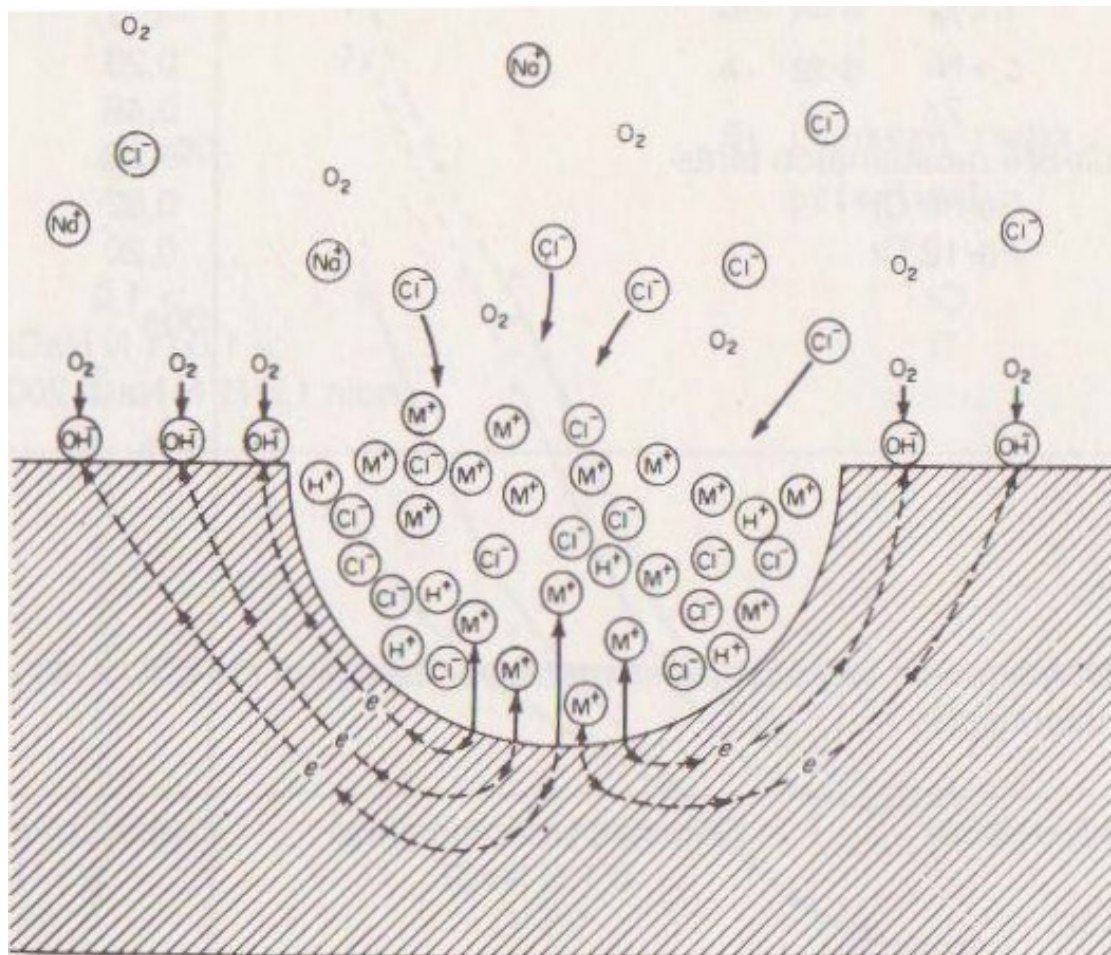
2.3.3 Happi ja hiilidioksidi

Hiilidioksidin liukoisuus luonnon vesiin voi kiihtyä muun muassa erilaisten humus-happojen ja fotosynteesin tuloksena. Vetykarbonaatin ja hiilidioksidin suhde vaikuttaa veden pH-tasoon. Esimerkiksi Itämeren rannikkoalueiden pH on noin 6,5 - 8. Veden pH-tason vaikutukset ovat erilaiset eri materiaaleilla, sillä eri metalleilla on omat optimaaliset korroosionkestävyysalueensa. Esimerkiksi kuparin suojaava oksidikerros alkaa murtua jo neutraalin pH:n alueella. (Häkkinen 1999, 23.)

Veteen liunneen hapen vaikutus materiaalin korroosioon voi olla ehkäisevä tai korroosiotapahtumaa kiihdyttävä. Veden suolapitoisuus ja lämpötila vaikuttavat hapen liukoisuuteen. Happipitoisuuden erot saattavat aiheuttaa paikallisia anodipisteitä metallin pintaan, jolloin aiheutuu sähkökemiallista syöpymistä. Joillakin metalleilla korkea happipitoisuus on edellytyksenä niiden korroosiokestävyydelle, mikä johtuu niiden kyvystä yhdessä hapen kanssa muodostaa metallia suojaava oksidikerros. Tämänlainen tiivis suojakerros muodostuu esimerkiksi ruostumattomalla teräksellä, alumiinilla ja titaanilla. (Suomen korroosioyhdistys 1988, 251.)

2.3.4 Suolapitoisuus

Veteen liunneet suolat parantavat sen sähkönjohtavuutta. Sähkönjohtavuuden kasvaessa metallin katodi- ja anodipisteet voivat sijaita kauempana toisistaan, jolloin aiheutuu epätasaista syöpymistä. Veden sisältämät kloridi-ionit saattavat tunkeutua suojakalvon muodostavien metallien oksidikalvon läpi ja aiheuttaa pistesyöpymistä (kuva 3). Tietyn väkevyyden ylittyessä kloridit auttavat metallin suojakalvon muodostumista ja näin ehkäisevät metallin suhteellista syöpymistä. Esimerkiksi Suomen rannikkovesien suolapitoisuus on niin alhainen, ettei vesi kykene muodostamaan metallin pintaan suojakalvoa. Samanaikaisesti sen aiheuttama syöpymä on valtamerien vastaavaa alhaisempi. (Suomen korroosioyhdistys 1988, 253.)



Kuva 3. Pistekorroosion mekanismi (Suomen korroosioyhdistys 1988, 105).

2.3.5 Eliöt ja organismit

Elävät organismit, kuten erilaiset bakteerit, alkueläimet ja sienet, voivat kerääntyä putkistojen seinämiin. Mikro-organismien ja bakteerien paikalliset esiintymät lisäävät virtausvastusta, saattavat aiheuttaa liuoksessa jännite-eroja ja voivat aineenvaihduntansa tuloksena tuottaa metallia syövyttäviä happoja. (Häkkinen 1999, 23.)

2.3.6 Saasteet

Vedessä olevia saasteita ovat muun muassa erilaiset metallit, veteen liuenneet happamat kaasut ja orgaaniset yhdisteet. Mikäli metallien pitoisuus on erityisen suuri, voivat ne aiheuttaa putkistoissa ja laitteissa galvaanista korroosiota. Orgaanisen aineksen aiheuttamat sulfidit reagoivat kupariyhdisteiden kanssa ja muodostavat CuS -yhdisteitä, jotka puolestaan voivat aiheuttaa kuparin pistekorroosiota. (Häkkinen 1999, 23.)

2.4 Jätevesi

Laivakäytössä esiintyviä jätevesiä nimitetään mustaksi ja harmaaksi vedeksi. Saniteetitiloissa käytetty vesi ja käytöstä syntyvä jätevesi on yleisesti makeaa vettä. Wc-altaiden huuhteluun saatetaan käyttää myös teknistä vettä. Musta vesi on käytännössä käymäläjätettä, lisäyksenä sairaalasta johdetut jätevedet. Käymäläjätteet sisältävät bakteereja, suoloja sekä erinäisiä aineksia, joita syntyy ihmisten aineenvaihdunnan tuloksena. Harmaa vesi käsittää muun muassa suihkutiloista, pesualtaista ja keittiötiloista tulevat jätevedet. Harmaa vesi saattaa sisältää muiden muassa erilaisia puhdistusaineita, öljyjä ja kiinteitä partikkeleita. (Räisänen 2000, 44-7.)

2.5 Kemikaalit

Putkistomateriaaleille haitallisia kemikaaleja laivan vesissä ovat esimerkiksi makean veden käsittelyyn käytetty kloori sekä rikinpuhdistuslaitosten vaatimat kemikaalit ja niiden reaktiotuotteet. Veden ominaisuuksia muutetaan eri kemikaalien avulla myös erilaisissa suljetuissa kierto- ja syöttövesijärjestelmissä. Esimerkkinä ovat veden happea sitovat tai kasvuston torjuntaan käytetyt kemikaalit. (Häkkinen 1993; 154, 205.)

3 PERINTEISET PUTKIMATERIAALIT

3.1 Matalaseosteiset teräkset

Hiiliteräs ja matalaseosteiset teräkset ovat edullisia materiaaleja. Alle 5 % seosaineita sisältävät teräkset luokitellaan matala- tai niukkaseosteisiksi. Korroosiolle voimakkaasti altistuvina matalaseosteiset teräkset tulee merivesipiirissä galvanoida tai pinnoittaa epoksilla. (Häkkinen 1993, 154.)

Galvanoinnissa teräksen pinta suojataan kuuma-, sähkö- tai ruiskusinkityksellä. Sähkösinkityksellä saadaan aikaiseksi ohut, noin 5 - 15 µm:n paksuinen kerros, ja sitä käytetäänkin lähinnä esteettisistä syistä. Ruiskusinkityksessä kappaleen pinta jää usein huokoiseksi. Kuumasinkityksellä saadaan aikaiseksi varmin, noin 50 - 115 µm:n paksuinen suojakerros. (Lepola, Makkonen 2004, 29- 30.) Merivesipiirissä sinkkipinnoitettu teräs soveltuu hyvin systeemeihin, joissa ei esiinny jatkuvaa virtausta. Sinkki ehkäisee vesissä esiintyvien organismien kerääntymistä metallin pintaan, sillä sen pinnalle muodostuvat suolat ovat niille myrkyllisiä. (Häkkinen 1999, 27.)

3.2 Ruostumattomat teräkset

Ruostumaton teräs on runsasseosteinen teräs, joka tärkeimpinä seosaineinaan sisältää nikkeliä ja yli 12 % kromia. Kromi muodostaa teräksen pintaan tiiviin ja kestävä kromioksidikerroksen. Ruostumattoman teräksen hyvän korroosiokestävyyden edellytyksenä on, että pinnan suojakerros säilyy ehjänä ja että suojapinnan muodostamiseen on saatavilla riittävästi happea. Tämä on ongelmana esimerkiksi tilanteessa, jossa kloridi-ionien syövyttämä vauriokohta sijaitsee virtauksettomassa vedessä eikä uutta reaktioon vaadittava happea ei ole saatavilla. Putkistomateriaalina käytetään lähinnä austeniittisia ja ferriittisiä ruostumattomia teräksiä. (Häkkinen 1999, 34.)

Ferriittinen ruostumaton teräs vastustaa tehokkaasti korroosiota, mutta hitsattaessa saattaa hitsin muutosvyöhykkeelle syntyä herkistymisaltis vyöhyke. Hitsauksen tuloksena muutosvyöhykkeen kromi yhdessä hiilen kanssa muodostaa teräksen raerajoille kromikarbideja. Kromikarbideihin sitoutuu runsaasti kromia, minkä tuloksena teräksen raerajojen läheisyyteen syntyy kapea kromiköyhä vyöhyke, joka ei muodosta oksidikerrosta. Kylmähauraudesta johtuen ferriittinen laatu soveltuu myös huonosti matalien lämpötilojen kohteisiin. (Suomen korroosioyhdistys 1988: 116, 458.)

Austeniittinen ruostumaton teräs on myös korroosiokestävää, joskin se on ferriittistä laatua alttiimpi rako- ja pistekorroosiolle. Austeniittinen ruostumaton teräs säilyttää sitkeytensä myös matalissa lämpötiloissa eikä siinä esiinny ferriittistä laatua vastaavaa kylmähaurautta. Austeniittisten terästen ominaisuudet vaihtelevat niiden sisältämien seosaineiden myötä: tyypiseosteiset ovat lujempia ja niukkahiilisten herkistymisalttius on alempi. (Suomen korroosioyhdistys 1988, 456)

3.3 Valuraudat

Valurautoja on useita lajeja: somu- ja pallografiittivaluraudat, valkoinen valurauta sekä adusoitu valurauta. Valurautojen nimitykset tulevat siitä, kuinka ja minkälaisiksi muodostelmiksi valuraudan grafiitti on muodostunut. Adusoitu valurauta on lämpökäsiteltyä valkoista valurautaa, jonka sisältämä hiili on eriytynyt grafiittikeriksi. Eri valurautalajeilla on muun muassa erilaiset lujuus- ja syöpymisominaisuutensa. Valurautaputkissa mahdollinen syöpymä otetaan usein huomioon ylimääräisellä ainepaksuudella. Suotuisissa olosuhteissa valuraudan pintaan voi syntyä grafiitin muodostama

suojakerros. Valurautaa käytetään muun muassa putkistolaitteiden eri osissa ja runkoputkissa, joiden halkaisija on suuri. (Vuorinen 1977, 60.)

3.4 Muut metallit ja metalliseokset

3.4.1 Kupari ja kupariseokset

Kuparin käyttö putkistomateriaalina selittyy osaltaan sen syöpymiskestävyydellä, sillä kuten ruostumaton teräs, myös kupari muodostaa suojaavan oksidikerroksen. Kupari ja sen seosmetallit ovat kuitenkin alttiita muun muassa jännitys- ja eroosiokorroosiolle. Mikäli kuparin oksidikerros ei ole täysin muodostunut ja se altistuu rikkivedylle tai sulfideille, muodostaa kupari rikin kanssa CuS-yhdistettä, jonka korrosoiva vaikutus ei lakkaa. Kupari ehkäisee sinkin tavoin tehokkaasti orgaanista kasvustoa. Kupari soveltuu hyvin muun muassa juomavesiputkiston haaralinjoihin. (Suomen korroosioyhdistys 1988, 489.)

Messinki on kuparin ja sinkin seos, joka sisältää vähintään 50 % kuparia ja korkeintaan noin 40 % sinkkiä. Seosmessingit sisältävät myös muita seosaineita, kuten alumiinia tai lyijyä. Sinkkipitoisuuden kasvaessa messingin eroosion kestävyys paranee, mutta vastaavasti sen jännityskorroosio-ominaisuudet huononevat. Messinki saattaa myös altistua valikoivalle liukenemiselle eli niin kutsutulle sinkkikadolle (kuva 4). Sinkkikatoa ei juuri tapahdu messingeillä, joiden kuparipitoisuus on yli 85 %. (Suomen korroosioyhdistys 1988, 492.)

Alumiinimessinki on kupariseos, jonka alumiinipitoisuus parantaa messingin eroosiokestävyyttä. Alumiinipronssi sisältää seosaineina muun muassa rautaa ja nikkeliä. Alumiinipronssi on ominaisuuksiltaan alumiinimessingin kaltainen, lisänä nikkelin parantama iskunkestävyys. (Häkkinen 1999, 34-35.)

Cunifer 10 ja Cunifer 30 ovat kupariseoksia. Cunifer 10 sisältää 10 % nikkeliä ja 1,5 % rautaa ja Cunifer 30 30 % nikkeliä ja 0,5 % rautaa. Molemmat materiaalit ovat hyvin lämpimän meriveden vaikutusta kestäviä materiaaleja. Ne voivat myös oikein käytettyinä kestää laivan eliniän mahdollisia paikallisia korjauksia lukuun ottamatta. Cunifer soveltuu hyvin merivesipiireihin, joissa virtausnopeus on 1 – 3 m/s, ja sitä käytetään esimerkiksi lämmönvaihtimien putkistomateriaalina. (Häkkinen 1999, 34; Metaliteollisuuden keskusliitto 2001, 32.)



Kuva 4. Sinkkikadon aiheuttamia vaurioita messinkiventtiilissä (Kuva: VTT/MGR. Suomen korroosioyhdistys 1988, 215).

3.4.2 Nikkeliseokset ja titaani

Titaani sekä kromi-molybdeeniseosteinen nikkeli ovat kalliita, mutta varsinkin eroosiokestävyysominaisuuksiltaan hyviä materiaaleja. Ne ovat kuitenkin alttiita orgaaniselle kasvustolle, mikäli ne sijaitsevat kohteessa, jossa ei esiinny tarpeeksi voimakasta jatkuvaa virtausta. Titaani on jalo metalli, joka saattaa altistaa putkiston epäjalommasta metallista valmistetut osat galvaaniselle korroosiolle. (Häkkinen 1999, 35.)

4 IMO – RESOLUTION A.753 (18) - GUIDELINES FOR THE APPLICATION OF PLASTIC PIPES ON SHIPS

Guidelines for the Application of Plastic Pipes on Ships on IMO:n (International Maritime Organization) 4. marraskuuta 1993 tekemä päätös. Se käsittelee kiinteiden putkistojen ja niissä käytettävien muovimateriaalien ominaisuuksia, testausta sekä niille asetettuja laatu- ja turvavaatimuksia. Lisäksi luokituslaitoksilla voi olla omat lisäyksensä päätöksen ohjeistuksiin. Kiinteällä putkistolla tarkoitetaan putkilinjoja ja putkis-

ton osia, joiden pääasiallinen materiaali on muovit eli ei muovimateriaaleja (joustavat putket ja liittimet), joita käytetään nykyisin metalliputkiston osina.

4.1 Materiaalin ominaisuudet ja suorituskyky

Päätöksen toinen osio ”Material design properties and performance criteria” käsittelee muun muassa putkistomateriaalien ominaisuuksien yleisiä vaatimuksia sekä vaatimuksia, jotka riippuvat putkiston käyttötarkoituksesta ja sijainnista.

Yleiset vaatimukset koskevat niitä ominaisuuksia, jotka ovat yhteisiä kaikille aineensiirtolinjoille riippumatta niiden käytöstä ja sijainnista. Vaatimuksissa määritellään muun muassa materiaalin ominaisuuksia, kuten sen vanhenemista ympäristön vaikutuksesta, eroosiokestävyyttä, yhteensopivuutta kuljetettavan nesteen tai kaasun kanssa sekä väsymisherkkyyttä.

Putkiston käyttötarkoitus ja sijainti määrittävät putkilinjan ominaisuudet, jotka ovat olennaisia aluksen turvallisuuskulmasta. Näihin lukeutuvat muiden muassa materiaalin kuumen-, kylmän- ja paineenkestävyys sekä minimikestävyys palotilanteessa. Palonkestävyyden kolme tasoa määrittävät materiaalin minimikestävyyden laivan eri osastojen palotapahtumissa. Tulenkestävyysluokat L1, L2 ja L3 ja niiden määrittämiseksi suoritettavat testit on listattu päätöksen liitteissä.

4.2 Materiaalin hyväksyminen ja laaduntarkkailu

Päätöksen kolmas osio ”Material approval and quality control during manufacture” määrittää valmistajille yhtenäiset ohjeistukset. Ohjeet käsittävät putkivalmisteiden ja niiden materiaalien laaduntarkkailun, jotta ne ovat yhtenevät päätöksen toisen pääluvun määrittämien materiaalin ominaisuuksien kanssa.

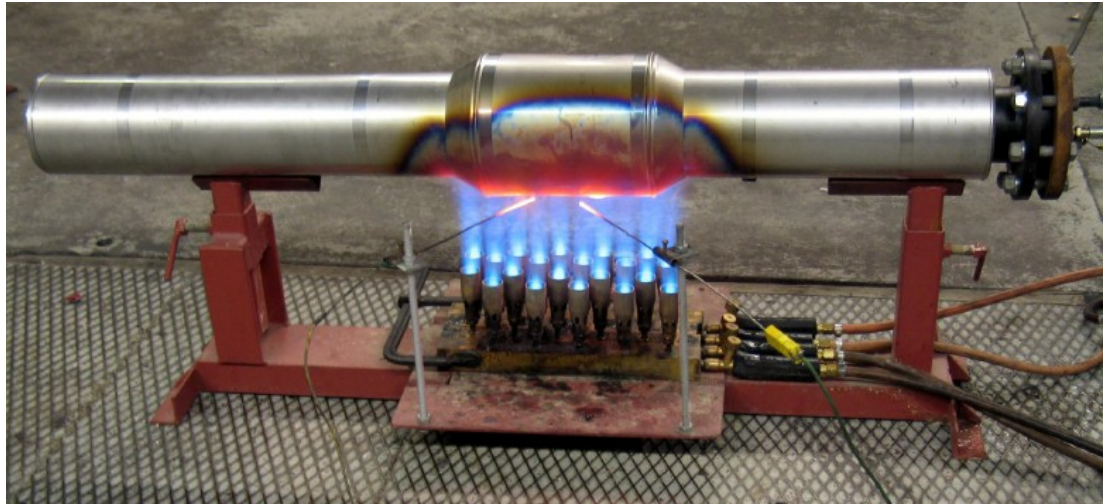
4.3 Installaatio

Installatio-ohjeistus sisältää muun muassa minimivaatimukset asennusmenetelmille sekä asennuksen jälkeiselle laaduntarkkailulle. Ohjeistuksen mukaisesti laaduntarkkailu keskitetään järjestelmiin, joiden asennuksen aikainen virhe voi johtaa vakaviin vaurioihin. Näitä ovat esimerkiksi vesitiiviit laipiot läpäisevät linjat sekä paloluokitettun tilan läpäisevät linjat.

4.4 Liitteet

Päätöksen jälkiteksti sisältää tarkat ohjeistukset muoviputkien tulenkestävyyden koestamiseen tarkoitetuista laitteista, koeympäristöstä ja -menetelmistä. Koemenetelmillä selvitetään muoviputken tulenkestävyysluokka L1, L2 tai L3, jonka avulla voidaan määrittää materiaalin tilakohtainen soveltuvuus.

Tasot L1 ja L2 määritetään eräänlaisella uunikokeella, jossa kuiva putki ja sen eristeet altistetaan yli 1000 °C:n lämpötilalle. Kestävyysluokassa L1 putken tulee kestää 60 minuuttia ja luokassa L2 30 minuuttia siten, että putki kestää jäähtyttyään sille suunniteltua painetta vuotamatta vähintään 15 minuuttia. L3-paloluokan kokeessa vesitäyteen eristetyn tai paljaan putken tulee kestää nopeaa lämpötilan nousua ja paljaan liekin vaikutusta vähintään 30 minuuttia (kuva 5). Lämpötilan äkillinen nousu saadaan aikaiseksi poltinsarjan tuottamalla paljaalla liekillä. Päätöksen neljäs liite (liite 1) sisältää listauksen tilakohtaisista tulenkestävyysluokkavaatimuksista ja kohteet, joissa muoviputket eivät ole sallittuja vallitsevien päätösten valossa.



Kuva 5. Vesitäyteen eristetyn, ruostumattomalla teräksellä päällystetyn polyeteeniputken tulenkestävyyskoe (VTT 2005, liite 6).

5 MUOVIT PUTKISTOMATERIAALINA

5.1 Yleistä

Muovit ovat nykyisin lähes kaikkialla käytettyjä materiaaleja. Tämä juontuu muun muassa muovien ominaisuuksien laajasta kirjosta. Muovien ominaisuudet ovat parantuneet huomattavan nopeasti ottaen huomioon niiden verrattain lyhyen historian. Laivanrakennuksessa muovien kehitystä ohjaavat muun muassa materiaalien kestävyys- ja turvallisuusvaatimukset. On esimerkiksi onnistuttu kehittämään muovilaji, jonka lyhytaikainen lämmönkesto on jopa 500 – 700 °C. (Seppälä 2005, 58.)

Siinä, missä metallien ehkäpä luonteenomaisin erityispiirre on niiden taipumus sähkökemialliseen korroosioon, on se muoveilla ominaisuuksien muuttuminen lämpötilan vaikutuksesta. Muovien lämpölaajeneminen on noin viisi- tai jopa kymmenkertaista esimerkiksi teräkseen verrattuna. Muovilajien lämpötilaominaisuudet ovat erilaisia, ja valmistajien tuoteselosteissa on materiaaleille ilmoitettu sekä ylin että alin käyttölämpötila. Kestomuovien ylimmässä sallitussa käyttölämpötilassa saattavat esimerkiksi niiden lujuusominaisuudet alentua noin viidennekseen. (Kurri, Malén, Sandell & Virtanen 2002, 59.)

Muovien keveys, korroosion puuttuminen ja nopea asennus tekevät niistä oivallisen laivan putkistomateriaaliksi. Putket toimitetaan konstruktiokohteeseen valmiiksi pintakäsiteltynä ja ne ovat asennuksen jälkeen lähes välittömästi käyttökelpoisia. Lisäksi muoviputken sileä ja organismeille myrkyllinen pinta ehkäisee tehokkaasti bakteerikasvustojen ilmenemistä. (Georg Fischer lehdistötiedote 14.3.2011.)

5.2 Muovien teoriaa

Muovi on hiilivety-yhdisteiden (monomeerien) muodostamista polymeeriketjuista ja lisäaineista koostuva materiaali. Materiaalissa polymeeriketjut voivat olla järjestäytymättömiä (amorfisuus) tai järjestyneitä, jolloin muoviin muodostuu kiteitä. Kiteiset muovit ovat niin sanotusti osakiteisiä, eli polymeerit esiintyvät tietyssä suhteessa kiteisenä ja amorfisena aineksena. Muovin suurempi kidesuhde vaikuttaa muun muassa sen sulamislämpötilan kohoamiseen ja vetolujuuden kasvamiseen. (Kurri ym. 2002, 41.)

Muovit nimetään, valmistajien tuotenimiä lukuun ottamatta niiden peruspolymeerin mukaan. Esimerkkinä on polyvinyylikloridi PVC, jossa vinyylikloridin monomeerien ((C₂H₃Cl)_n) muodostamat polymeerit muodostavat perusaineen. Polymeeriketjujen muodostamien monomeerilajien määrästä riippuen polymeeriä nimitetään joko homo- tai kopolymeeriksi. Kopolymeerin muodostavat vähintään kaksi eri monomeerilaatua (kuva 6). Muovien nimistä ei käy ilmi, mihin muovien ryhmään, kuten kerta- tai kestopuoveihin, ne kuuluvat. (Seppälä 2005; 26, 32)



Kuva 6. Esimerkkikuva haaroittuneista homo- ja kopolymeereistä (Seppälä 2005, 26).

Kertamuovit (esim. epoksit) kovettuvat lämmön vaikutuksesta, ja niiden molekyyli- rakenne hajoaa niiden korkeimman käyttölämpötilan ylittyessä. Hajonneen rakenteen ominaisuudet eivät palaa aineen jäähtyttyä. Kestomuoveja voidaan sulattaa ja niiden jäähtyttyä aineen ominaisuudet säilyvät. Toisin sanoen kestopuoveja voidaan hitsata. Amorfiset kestopuovit pehmenevät niiden sulamispistettä lähestyttäessä, eikä niille voi määrittää tarkkaa sulamispistettä. (Lepola & Makkonen 2004, 112.)

Kiteisyyden lisäksi muovien ominaisuuksiin vaikutetaan erilaisilla lisäaineilla, jotka käsittävät täyte-, lujite- ja apuaineet. Täyteaineita, joita käytetään pääasiassa kestopuoveissa, ovat muun muassa liitujauhe ja kvartsi. Niillä saadaan aikaiseksi raaka- ainetta suurempi tilavuus, jonka myötä säästetään raaka-aineen materiaalikustannuk- sissa. Lisäksi täyteaineet vaikuttavat materiaalin lämpölaajenemiskertoimen alenemi- seen, lujuuteen, tiheyteen, kulutuskestävyyteen sekä sähkönjohtavuuteen. Muovista täyteaineita on usein vähintään 10 tilavuusprosenttia. (Kurri ym. 2002, 28; Lepola & Makkonen 2004, 110.)

Lujitelisäaineilla aikaansaadut lujitemuovit ovat komposiittimateriaaleja, joiden lisä- aineina voidaan käyttää muun muassa lasi-, hiili- ja piikarbidikuituja tai metalliokside- ja. Lujiteaineet parantavat materiaalin kemiallista kestävyyttä ja parantavat muovin lu-

juusominaisuuksia kuitenkin uhraamatta liialti perusaineen tiheydestä. Lujiteaineita voi olla muovissa 10 – 60 %. (Kurri ym. 2002, 139.)

Apuaineiksi muoveissa luetaan esimerkiksi pehmittimet, väri- ja palonestoaineet sekä antistaatit eli staattisen sähköön purkuaineet. Apuaineisiin kuuluvat myös stabilisaattorit, jotka parantavat muovituotteen lämmön, UV-säteilyn ja hapen vaikutusten kesto-kykyä. Apuaineiden käyttöalue muoveissa on laaja. Usein apuaineita muovista on joitakin painoprosentteja, on tosin myös aineita, joita käytetään vain joitakin promilleja. (Kurri, Malén, Sandell & Virtanen 2002, 29.)

5.3 ABS

Akryylnitriilibutadieenistyreeni on styreenin kopolymeeri. ABS:n polymeerit muodostuvat kolmesta monomeeristä, ja muovin ominaisuudet jokseenkin muuttuvat aineiden keskinäisen suhteen mukaan. ABS on rakenteeltaan amorfinen, eli sillä ei ole tarkkaa sulamispistettä, mutta sen pehmenemislämpötila on noin 100 °C. IMO:n ohjeistuksen mukaisesti putkistokäytön muovien ylin käyttölämpötila määräytyy vähintään 20 °C alinta muodonmuutoslämpötilaa alhaisemmaksi. ABS on iskunkestävä materiaali ja se säilyttää kestävyytensä matalassakin (jopa -40 °C) lämpötilassa. Kemikaalikestävyytensä ansiosta ABS soveltuu monenlaisien kohteiden materiaaliksi. Se kestää hyvin suolaliuoksia, laimeita happoja ja emäksiä. (Järvinen 2000, 40; Seppälä 2005, 195.)

5.4 PB

Polybuteeni on hyvin kulutusta kestävä muovimateriaali. Se on kulutuskokeissa osoittautunut muun muassa teräsputkea kestävämmäksi. Polybuteenin pituussuuntaan vähäinen lämpölaajeneminen sekä vähäinen viruminen tekevät siitä hyvän korkeiden lämpötilojen, kuten kuumavesiputkistojen, materiaaliksi. Polybuteeni kestää muun muassa laimeita happoja, alkaleita sekä vähäsuolaista tai suolatonta vettä. Polybuteeni haurastuu noin -18 °C:n lämpötilassa ja vaatii säänkestävyyden parantamiseksi stabilisaattoriaineita. (Seppälä 2005, 179)

5.5 PE

Polyeteenejä ovat LDPE (pientiheyspolyeteeni), LLDPE (lineaarinen pientiheyspolyeteeni), MDPE (keskitiheyspolyeteeni) sekä HDPE (suurtiheyspolyeteeni). Polyeteeni on kiteinen muovilaji, jonka kiteisyysaste vaihtelee LDPE:n 50 - 60 %:sta HDPE:n jopa 90 prosenttiin. Suurempi kiteisyysaste muun muassa parantaa polyeteenin kemiallista kestävyyttä, vähentää virumista ja muovin sulamislämpötila kohoaa. Mahdollinen veden imeytyminen polyeteenillä on vähäistä: alle 0,01 %. Polyeteeni säilyttää iskulujuutensa hyvin myös matalissa lämpötiloissa ja sen käyttölämpötila-alue on laaja: -50... +100 °C. Kuten kaikilla muoveilla, lämpötila-alue jokseenkin muuttuu käytetyn laadun ja sen valmistuksessa käytettyjen lisäaineiden mukaan. (Seppälä 2005, 165 – 170; Järvinen 2000, 20-24.)

5.6 PP

Polypropeeni on kiteinen (kiteisyysaste noin 40 - 60 %) ja ominaisuuksiltaan läheisesti suurtiheyspolyeteenin kaltainen. Sen kylmäominaisuudet kuitenkin ovat polyeteeniä heikommät. Polypropeenin amorfiset osat lasittuvat eli kovettuvat noin -10 °C:n lämpötilassa ja muovi jäykistyy. Se on kuitenkin polyeteeniä kestävämpi korkeissa lämpötiloissa eli se ei ole yhtä taipuvainen lämpövanhenemiselle. Huoneenlämmössä polypropeeni vastustaa hyvin tehokkaasti liuottimien vaikutusta. Polypropeenia esiintyy käytössä sen homopolymeeriä (PP-H) ja satunnaiskopolymeeriä (PP-R). Polypropeenin ominaisuuksiin, kuten kovuuteen ja kylmäkestävyyteen vaikutetaan muun muassa kopolymeroimalla siihen eteeniä. (Järvinen 2000, 26; Seppälä 2005, 178.)

5.7 PVC

Polyvinyylikloridi on amorfinen yleisesti käytetty muovilaatu. Sen ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa laajasti erilaisilla lisä- ja apuaineilla. Putkistokäytön kova PVC eli PVC-U kestää hyvin muun muassa monia happoja, hapettavia kemikaaleja sekä suolaliuoksia. Materiaalin korkeasta klooripitoisuudesta (noin 56 painoprosenttia) johtuu, että se on heikosti syttyvä eikä se ylläpidä palamista. Polyvinyylikloridin lämpötilan ylittäessä 100 °C siitä tosin erittyy ihmiselle haitallista kloorivetykaasua. PVC on altis ilman sisältämän hapen sekä UV-säteilyn vaikutuksille. (Seppälä 2005, 186.)

Jälkiklooraamalla saadaan PVC:n lämpötilan ja syöpymisen kestävyyttä parannettua. PVC-C kestää hyvin muun muassa monia mineraalihappoja, emäksiä ja erilaisia suo-
loja. Kovan polyvinyylikloridin käyttölämpötila-alue on muihin putkimateriaaleihin
verrattuna kapea: 0 – 60 °C. Klooraamalla materiaalin pitkäaikainen maksimilämpötila
kohoaa noin 100 °C:n lämpötilaan ja laivaan asennettuna, IMO:n säännösten mukai-
sesti sen maksimikäyttölämpötilaksi määräytyy noin 80 °C. Klooriseosteisen PVC:n
lämpötila-alue muodostuu polypropeenin kaltaiseksi, mutta sen lämpölaajenemisker-
roin on alhaisempi. (Seppälä 2005, 186; IPS Flow Systems; Järvinen 2000, 30.)

5.8 Lujitemuovi (lasikuitu)

Putkistokäytön lujitemuovi on usein lasikuituja sisältävää epoksihartsia (kuva 7). Mui-
ta mahdollisia lujiteaineita ovat muiden muassa hiili- ja aramidikuidut, mutta ne ovat
lasikuitua kalliimpia. Epoksi on kertamuovi, eli sen rakenne hajoaa tietyn lämpötilan
ylittyessä, eikä se siis sovellu hitsattavaksi. Lujitemuovin ominaisuuksiin vaikutetaan
muun muassa sen kuitupitoisuudella. Lujitemuoviputken matriisimuovin polymeeri-
ketjujen ristosilloittunut rakenne takaa sille hyvät mekaaniset ominaisuudet ja laajan
lämpötila-alueen, jopa 50 bar ja -50 – >100 °C. Kertamuovirakenteen ansiosta kappaa-
leen ominaisuuksien, kuten paineenkestävyyden, muutos on vähäistä ennen sen ha-
joamislämpötilaa. (Häkkinen 1999, 36; Järvinen 2008, 125; Kurri ym. 2002, 59; Futu-
re pipe industry.)



Kuva 7. Jatkuvien lasikuitujen liittäminen epoksimatriisiin (Future pipe industry).

Yleisesti lujitemuovien kemikaalikestävyys on hyvä, ja ne soveltuvat moniin käyttökohteisiin, kuten rikinpuhdistuslaitosten rikkipitoisen meriveden putkistomateriaaliksi. Lujitemuovien kemiallisen kestävyysominaisuuksiin vaikutetaan pinnoittamalla. Pinnoitelajeja ovat muiden muassa pintahartsit (gelcoat), suojapinnoitteet (topcoat) sekä erilaiset yksi- tai kaksikomponenttimaalit. Pintahartsia käytetään putken ulkopintaan suojamaan muun muassa kosteuden ja kemikaalien vaikutuksilta. Pintaharts antaa tuotteelle myös kovan ja kestävä pinnan. Suojapinnoite on putken sisäpintaan levitettävä pinnoite, joka on ominaisuuksiltaan kova sekä likaa ja vettä hylkivä. (Saarela, Airasmaa, Kokko, Skrifvars & Komppa 2003, 100.)

5.9 Muovimateriaalien ominaisuuksista

Kestomuovien yleisiä ominaisuuksia kuvataan taulukossa 1.

Muovit ovat metalleihin, jopa alumiiniin ($2,70 \text{ g/cm}^3$) verrattuna kevyitä materiaaleja. Muovien pituuden lämpötilakerroin α on kuitenkin huomattavasti korkeampi: $6 \cdot 10^{-5} \text{ /K}$, kun se vastaavasti teräksellä on noin $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ /K}$. Esimerkiksi PVC:n ($\alpha = 6 \cdot 10^{-5} \text{ /K}$) lämpölaajeneminen on viisinkertaista teräkseen ($\alpha = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ /K}$) verrattuna (kaava 1). Polymeerien lämpölaajenemiskerroin mitataan ja ilmoitetaan välillä $20 - 50 \text{ }^\circ\text{C}$, sillä niiden lämpölaajenemiskerroin kasvaa lämpötilan noustessa ja vastaavasti laskee lämpötilan alentuessa. Myös muovin täyteaineet alentavat lämpölaajenemista. Tilavuuden lämpötilakerroin γ homogeenisellä kiinteällä aineella on $3 \cdot \alpha$. (Seppälä 2005, 106.)

$$(1) \quad \Delta l_1 = \alpha_{PVC} \cdot l_0 \cdot \Delta t = 6,0 \cdot \frac{10^{-5}}{\text{K}} \cdot 2000 \text{ mm} \cdot 30 \text{ K} = 3,6 \text{ mm}$$

$$(2) \quad \Delta l_2 = \alpha_{teräs} \cdot l_0 \cdot \Delta t = 1,2 \cdot \frac{10^{-5}}{\text{K}} \cdot 2000 \text{ mm} \cdot 30 \text{ K} = 0,72 \text{ mm}$$

Kahden 2 m pitkän kappaleen pituuden muutos lämpötilan kohotessa 30 K.

Muovin iskulujuusarvo kuvaa sen kykyä kestää äkillistä paikallista ulkoista voimaa. Charpy-iskulujuuden määrittämissä materiaalin murtumiseen vaadittava voima selvitetään heilurivasaran avulla. Muovimateriaalien sitkeys alenee lämpötilan laskiessa, ja joidenkin materiaalien murtumiseen vaadittava voima on alhaisempi normaalisti $23 \text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilassa suoritettuna tuloksiin verrattuna. Esimerkiksi PP-H:n 85 kJ/m^2 ($23 \text{ }^\circ\text{C}$) ja noin 5 kJ/m^2 ($0 \text{ }^\circ\text{C}$). (Seppälä 2005, 78; Georg Fischer Ab.)

Muovit eristävät hyvin sekä lämpöä että sähköä. Tästä syystä muoviputket vaativat lämpöeristystä kohteesta riippuen vähän tai eivät ollenkaan. Esimerkiksi polyeteenin lämmönjohtavuus on noin $0,4 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ ja teräksen noin $45 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$. Muovien korkeasta pintavastuksesta johtuen ($>10^{12} \Omega$) saattavat ne latautua staattisella sähköllä. Staattinen sähkö voi purkautua ja synnyttää ylilyönnin pinnan kahden eri potentiaalin omaavan pisteen välillä. (Seppälä 2005, 103.)

Purkautunut sähkö voi sytyttää materiaalin pintaan kiinnittyneen pölyn tai sitä ympäröivän syttyvän kaasun ja jopa puhkaista materiaalin pinnan. Vaara-alttiissa kohteessa sijaitsevalta putkelta ja sen osilta vaaditaan sähkönjohtavuutta staattisen sähkön purkautumisen estämiseksi. Guidelines for the application of plastic piping on ships määräysten mukaisesti kohteissa, joissa putkistolta vaaditaan sähkönjohtavuutta saa putkimateriaalin vastus olla korkeintaan $10^6 \Omega$. Tämä saadaan aikaiseksi antistaattisilla li-säaineilla, metallisella pinnoitteella tai maalilla. (Seppälä 2005, 103.)

Taulukko 1. Kestomuovimateriaalien ominaisuuksien keskimääräisiä arvoja (Seppälä 2005, 163 – 194; Järvinen 2000, 19 – 60; Georg Fischer tuotteet; IPS flow systems).

Ominaisuus	Yksikkö	ABS	PB	PE	PP-H	PP-R	PVC-C	PVC-U
Tiheys	g/cm ³	1,03	~0,93	0,95	0,9	0,91	1,5	1,38
Iskulujuus (lovettu)	kJ/m ²	42		83	85	30	6	6
Pituuden lämpötilakerroin	$10^{-5}/\text{K}$	10	13	15 – 20	16 - 18	6 - 7	6 - 7	7 - 8
Sulamispiste	C		124 - 126	130	164 - 167	~150		
Pehmenemislämpötila	C	90 - 100					>103	~90
Maksimikäyttölämpötila	C	60	95	60	80	80	80	60
Minimikäyttölämpötila	C	-40	-5	-50	0	0	0	0
Lämmönjohtavuus	W/m [°] K	0,2		0,4	0,22	0,24	0,07	0,14
Pintavastus	Ω	10^{13}		10^{14}	10^{14}	10^{14}	10^{14}	10^{14}

Muovit ovat palavia materiaaleja. Tietyissä kohteissa, kuten koneistotiloissa ja lastipumpputiloissa, vaaditaan putkimateriaalilta alhaista liekkien etenemisnopeutta.

IMO:n määräysten mukaisesti tällaisissa tiloissa liekkien leviämisenopeus saa aineella olla korkeintaan 6 cm/min. Alhaista liekkien etenemistä ei vaadita kansilla tai putkitunneleissa. (Steinemann 2003.)

5.10 Putket

Muovista valmistetun putken pinta on sileä, eli se ehkäisee tehokkaasti saostumisen muodostumista. Pinnan rikkoutuminen esimerkiksi asennusvaiheessa saattaa kuitenkin

johtaa siihen, että pinta materiaalista riippuen absorboi itseensä vettä. Muovin vedenimeytymiskyky mitataan millimetrin paksuisella, veteen upotetulla muovikappaleella ja ilmoitetaan prosentteina (ISO 62). Esimerkiksi ABS kykenee absorboimaan vettä noin 1 % ja PVC-C noin 0,03 %. IMO:n määräysten mukaan materiaalin on oltava sellaista, ettei nesteen imeytyminen vaikuta putken mekaanisiin ominaisuuksiin. (Häkkinen 1999, 36.)

Muoviputkien paineenkestävyys riippuu käytetystä materiaalista, liitännätavasta, putken halkaisijasta ja käyttölämpötilasta. Muoviputkien paineenkestävyys mainitaan niin kutsuttuna PN-lukuna. PN-luku ilmoittaa putken suurimman suunnitellun painetason 20 °C:n lämpötilassa, esimerkiksi PN10, jossa putken suurin sallittu nimellinen käyttöpaine on 10 baaria. Putken paineenkestävyys alenee lähestyttäessä materiaalin maksimikäyttölämpötilaa. Esimerkiksi PN16 (20 °C) mitoitettun PVC-U materiaalia olevan putken paineenkestävyys on 70 °C:n lämpötilassa alle 5 baaria. (IPS flow systems, Georg Fischer Ab)

Laivanrakennuksessa käytettyjen putkien ja liitinten painemitoitus voidaan tehdä usein varsinkin halkaisijaltaan pienemmille putkille ja liittimille PN16-tasolle, putkihalkaisijan kasvaessa paineluokka laskee. Putken nimellispainemitoituksen perusteella luokituslaitos määrittää putken ylimmän sallitun käyttöpaineen lämpötilan mukaan. Taulukossa 2 kuvataan DNV:n käyttöpainerajoitukset tietyille muoviputkille. (IPS flow systems, Georg Fischer Ab, Epco)

Taulukko 2. Det Norske Veritas -luokituslaitoksen muoviputkien sallitut käyttöpainetasot (Det Norske Veritas 2011, 49).

Materiaali	PN	Lämpötila ja sallittu käyttöpaine (bar)					
		-20 – 0 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C
PVC	10		7,5	6			
	16		12	9	6		
ABS	10	7,5	7,5	7	6		
	16	12	12	10,5	9	7,5	6
PE-HD	10	7,5	6				
	16	12	9,5	6			

5.11 Liitöntäätavat

Muoviputkien keskinäisiä sekä muovi-teräслиitöntätapoja on useita. Liitännät ovat usein putkiston heikko kohta, sillä esimerkiksi harvalla hitsaustyyllillä aikaansaadulla saumalla päästään perusmateriaalin lujuusluokkaan. Kuten kaikissa liitännöissä, myös muovien yhdistämistekniikoiden yhteinen teema on liitospintojen puhtaus. Usein työvaiheita edeltävä toimenpide on esimerkiksi hitsauksessa hapettuneen pintamuovin poistaminen lastuamalla. (Kurri ym. 2002, 174.)

5.11.1 Muovien hitsaaminen

Muoveja hitsataan lämmön ja paineen avulla joko lisäainetta käyttämällä tai ilman lisäaineita. Lämmön avulla pehmitetyt pinnat puristetaan yhteen, jolloin kappaleiden molekyyliketjut lomittuvat saumakohdassa muodostaen yhtenäisen rakenteen. Muoveilla on omat lämpötila-alueajansa, joiden sisällä ne sulavat ja hitsaus on mahdollista. Eri muovilajeja ei voi hitsata yhteen, mikä johtuu niiden erilaisista lämpökäyttäytymisistä sekä polymeeriketjujen erilaisesta koostumuksesta. Usein muovien hitsaus suoritetaan 200 – 300 °C:n lämpötilassa. Hitsattaessa kappale tulee kuivata, sillä kosteus muovin pinnalla saattaa aiheuttaa veden höyrystymisen. Höyry puolestaan synnyttää saumaan kuplia. Liitoskohtaan syntyneet kuplat voivat johtaa materiaalin rakenteen heikkenemiseen tai rikkoutumiseen. (Kurri ym. 2002, 174.)

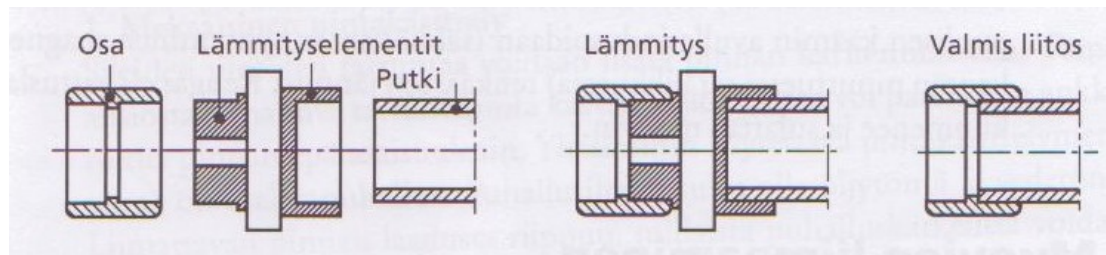
5.11.1.1 Kuumakaasuhitsaus

Kuumakaasuhitsaus on verrattavissa metallien kaasuhitsaukseen. Siinä pyörö- tai pikasuuttimen avulla puhalletaan hitsauskohtaan kuumaa ilmaa, hiilidioksidia tai typpeä. Kuuma ilma sulattaa sekä perus- että lisäainetta. Sulaan saumaan tuodaan ja sulatetaan lisäaine ja yhdistymiseen vaadittava paine taataan painamalla lisäainetta kohtisuoraan saumaa vasten. Pikasuutinta käytettäessä lisäaine syötetään suuttimessa olevan syöttöputken kautta. (Kurri, Malén, Sandell & Virtanen 2002, 175.)

5.11.1.2 Pusku- ja muhvihitsaus

Puskuhitsauksessa päistään tasattujen putkiosien liitettävät päät kuumennetaan lämpölevyn tai ”peilien” avulla sulaksi ja puristetaan yhteen jäähtymisen ajaksi materiaalin vaatimalla painetasolla. Puskuhitsaus ei siis vaadi lisäainetta ja hitsaus voidaan suorit-

taa niin sanotuilla irtopeileillä tai omassa hitsaustelineessään, jossa voidaan suorittaa kaikki tarvittavat työvaiheet. (Kurri ym. 2002, 178.)



Kuva 8. Muhvihitsauksen työvaiheet (Kurri ym. 2002, 179).

Muhvihitsaus on peruseriaatteeltaan puskuhitsauksen tapainen putkiosien liitostyyli. Siinä muhvitetun osan tai muhvivälikappaleen sisäpinta ja siihen liitettävän putken ulkopinta kuumennetaan hitsauslämpötilaan. Muhvin ja putken sovite on mitoitettu siten, että putki ei kylmänä mahdu muhvin sisään. Hitsauspaineen muodostaa tiukan soviteen synnyttämä puristus. Muhvihitsauksella saavutetaan puskuhitsausta pinta-alaltaan suurempi hitsausala ja siten voimakkaampi liitos. (Kurri ym. 2002, 179.)

5.11.1.3 Vastuslankahitsaus

Vastuslankahitsauksessa päistään tasoitettujen hitsattavien kappaleiden väliin asetetaan vastuslanka. Lankaan johdetaan sähkövirta, minkä vaikutuksesta lanka kuumenee ja sulattaa yhdistettävät pinnat. Materiaalin jäähtyessä ei lankaa voi irrottaa vaan se jää saumaan liitoskohtaa heikentäen. Vastuslankahitsaus on nopea liitöntätapa (3-10 s), mutta sen tuloksena saadun sauman liitospinta-ala on pieni ja liitoksen lujuus on alhainen. (Kurri ym. 2002, 179; Muovimuotoilu.)

5.11.1.4 Sähkömuhvihitsaus

Sähkömuhvi on putkien liittämiseen käytetty erillinen osa. Sähkömuhvilla saavutetaan tiivis liitos, jossa muhvi muodostaa itse putkimateriaalia vahvemman osan. Periaatteeltaan sähkömuhvimenetelmä on vastuslankahitsauksen kaltainen. Sähkömuhvihitsauksessa keskusyksikön sisältävän virtalähteen avulla syötetään virtaa sähkömuhvin sisältämille käämille, jotka lämpenevät ja liittävät osat tiivistä toisiinsa. Keskusyksikkö ohjelmoidaan kirjaamalla ohjelmaan putken parametrit, minkä jälkeen laite automaattisesti hoitaa hitsauksen. Hitsaajan työksi jää ohjelmoinnin lisäksi työn esivalmis-

telut, joissa muun muassa lastutaan ohut hapettunut kerros putken liitettäviltä pinnoilta. (Muoviteollisuus ry. 2011, 7.)



Kuva 9. Sähkömuhvin asentaminen esivalmisteltuun polyeteeniputkeen (Muoviteollisuus ry. 2011, 12).

5.11.1.5 Lämpösäteilyhitsaus (Infrapunahitsaus)

Infrapunahitsauksessa liitettävät pinnat lämmitetään infrapunasäteilyn avulla. Säteilyn avulla siirretty lämpö ei vaadi lämmityspinnan koskettamista liitoskappaleiden välillä, eikä siten aiheudu vaaraa, että saumaan joutuisi epäpuhtauksia. Lämpösäteilyhitsauksen periaate on muuten samanlainen kuin puskuhitsauksen, mutta puhtauden lisäksi sen avulla saavutetaan nopeampi perusaineen lämpötilan kohoaminen. Liitoksen vahvuus on hyvin lähellä putkimateriaalin kestävyyttä. (Kouvo 2003, 23.)

5.11.1.6 Laserhitsaus

Polymeerien laserhitsauksella saavutetaan myös koskematon lämmönsiirto eli puhdas hitsausliitos. Siinä lasersäteen sisältämä energia absorboituu hitsattavaan kohteeseen, synnyttää lämpöä ja sulattaa hitsattavat pinnat. Lasersäteen avulla saatu hitsisauma on kapea ja sillä on hyvät lujuusominaisuudet perusaineeseen verrattuna (lujuussuhde ~ 1). (Kouvo 2003, 24.)

5.11.2 Liimaus

Liimaus sopii sekä kesto- että kertamuovisten kappaleiden liitöntöihin, mutta osakiteisten kestopuovien pintarakenne saattaa asettaa rajoitukset liiman tunkeutumiselle. Liimaussauaman kestävyteen vaikuttavat myös muun muassa materiaalin täyteaineet sekä pinnanlaatu. Liittämiseen käytettyjä liimalajeja ovat kovettuvat, haihtuvat ja jähmettyvät liimat. (Kurri ym. 2002, 182.)

Kovettuvien liimojen toiminta perustuu kemialliseen reaktioon. Usein käytettyjä kovettuvia liimoja ovat erilaiset kaksikomponenttiliimat, kuten epoksi- ja polyuretaaniliimat. Haihtuvien liimojen (liuotinliimojen) toiminta on verrattavissa muovien hitsaamiseen. Niiden avulla voidaan liittää vain samaa materiaaleja olevia muoveja. Liitettävien kappaleiden pinnat liukenevat, sekoittuvat keskenään ja liuottimen haihtuessa kovettuvat perusaineen ominaisuuksia vastaavaksi. Jähmettyvät liimat levitetään yhdistettäville pinnoille sulana ja ne jähmettyvät lämpötilan laskiessa. (Kurri ym. 2002, 182.)

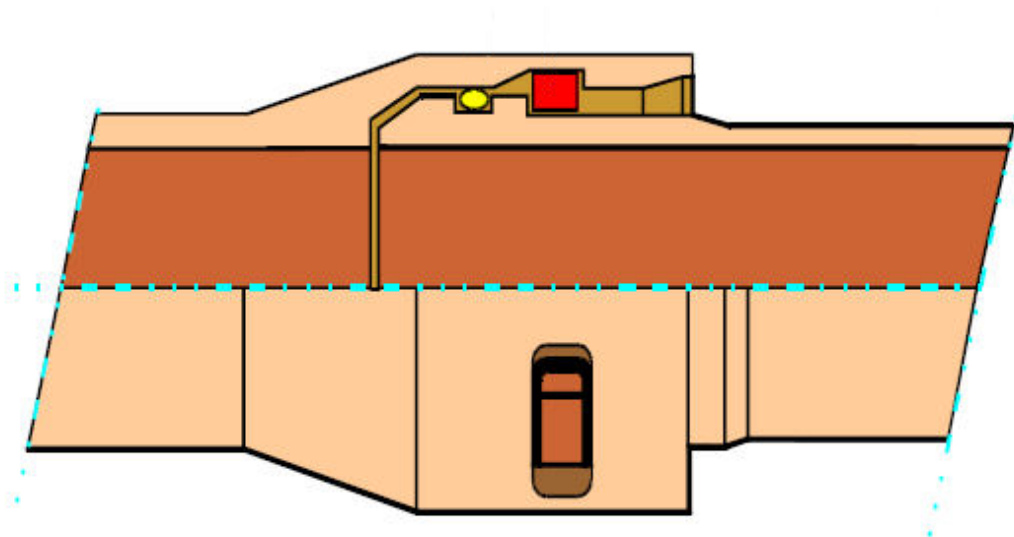
5.11.3 Laminointi

Laminoimalla voidaan muun muassa korjata putken vaurioitunut kohta. Liitöntätapana laminoimalla saadaan aikaiseksi hyvä liitospinta-ala, ja sitä käytetään muun muassa halkaisijaltaan suurempien lujitemuoviputkien pysyvään liitokseen. Liimaliitännän tapaan laminaattiliitos on jäykkä eli se ei salli kappaleiden välistä liikettä. (Häkkinen 1999, 36.)

5.11.4 Mekaaninen liitöntä

5.11.4.1 Muhviliitos

Muhviliitos voidaan edellä mainitun muhvihitsauksen sijaan tehdä ilman lämmöntuontia, ja siten se soveltuu lujitemuoviputkien liitöntätavaksi. Muhviliitos ei myöskään vaadi liimausta. Lujitemuoviputkien muhviliitännässä muhvi ja liitettävän putken pää ovat uritettuja, ja niihin asennetaan tiivistävä O-rengas sekä mahdollisesti irrotettava lukitusrengas (kuva 10). Tällainen liitostapa sallii tietyissä määrin yhdistettyjen kappaleiden välistä liikettä. (Future pipe industry.)



Kuva 10. Lujitemuoviputken muhviiliitos. Kuvassa tiivisterengas näkyy keltaisena ja lukiteosa punaisena (Future pipe industry).

5.11.4.2 Puristusliitos

Puristusliitoksessa kiristettävä ruostumatonta terästä oleva liitin puristetaan yhdistettävien putkien ylle. Liittimen ruuvit kiristetään tiettyyn momenttiin, jolloin pannan tiivisterenkaat asettuvat tiiviisti putkien pinnalle. Putkien pituussuuntaista liikettä esimerkiksi värinän vaikutuksesta voidaan ehkäistä hammastetulla liittimellä, jonka hammat tunkeutuvat kiristettäessä putken pintaan. (Georg Fischer Ab.)

5.11.4.3 Laippaliitos

Laippaliitoksessa laipoitettu putki tai irtolaippa kiristetään ruuvien avulla ja saadaan aikaiseksi tarvittaessa irrotettava liitos. Laippaliitosta käytetään muun muassa muovija teräsputkien liitoksiin, kuten tankin läpiviennin ja lujitemuovisen runkoputken liitoksissa. (Future pipe industry.)

5.11.4.4 Kierreliitos

Kestomuoviputkien ja kierteellisten metalliputkien liittämiseen voidaan käyttää liitosmuhvien sovitinta tai muoviputkeen asennettavaa kierreliitintä. Sovittimet sisältävät ruostumattomasta teräksestä, messingistä tai muusta kestävästä metallista valmistetun kierreliittimen. Liittimen materiaalivalinnassa tulee ottaa huomioon metallisten kappaleiden galvaaninen yhteensopivuus. (Georg Fischer Ab.)

5.12 Venttiilit

Muoviputkistojen venttiilien toimintaperiaatteet ovat metallisten venttiilien vastaavia, joskin niiden rakenteet eroavat hiukan toisistaan. Muoviventtiilien varsissa esimerkiksi on varren rikkovan iskun varalta suunniteltu murtumiskohta sekä kahdennettu tiivistys. Venttiilityyppejä ovat muun muassa pallo-, läppä- ja kalvoventtiilit, jotka voivat olla käsi- tai etäkäyttöisiä. Etäkäytön toimilaitteet voivat olla sähköisesti tai paineilmalla säädettäviä. (Georg Fischer Ab, IPS flow systems.)

Putkilinjojen yhtenäisten ominaisuuksien säilymiseksi vähintään venttiilien nesteen kanssa kosketuksissa olevat osat ovat usein samaa materiaalia kuin linjan putket. Palloventtiilien pallon tiivisteenä käytetään polytetrafluorieteeniä (Teflon[®]), kuten myös metalliputkiston venttiileissä. Polytetrafluorieteeni hylkii tehokkaasti epäpuhtauksia, sillä on laaja käyttölämpötila-alue sekä se on kemiallisesti täysin kestävä 150°C lämpötilaan asti. (Georg Fischer Ab, Häkkinen 1999, 59; Seppälä 2005, 190.)

Venttiilien paineenkestävyys riippuu niiden rakennemateriaalista, tyypistä ja liitännätavasta. Palloventtiilien painemitoitus on usein sama kuin putkimateriaalilla, joskin liitännätapa saattaa alentaa paineluokitusta. Esimerkiksi kierreliitäntä voi laskea nimellispainetason 16 baarista PN10-tasoon. Palloventtiilien liitännätavat ovat samanlaiset kuin putkiliitoksissa. Läppäventtiilien nesteen kanssa kosketuksissa olevat osat ovat samaa materiaalia järjestelmän putkien kanssa. Runkomateriaali venttiilillä voi olla esimerkiksi lasikuituvahvistettua polypropeenaa. (Georg Fischer Ab, IPS flow systems.)

5.13 Ympäristö, ominaisuudet ja kustannukset

Teräksiin ja metalleihin verrattuna muovit toimivat kapealla lämpötila-alueella sekä verrattain lähellä sulamis- tai pehmenemislämpötilojaan. Muovien ominaisuuksien muuttuminen johtuu osaltaan juuri lämpötilan vaikutuksesta (ks. 6.1). Korkea lämpötila johtaa muovien virumiseen sekä sen myötä rakenteen heikentymiseen. Kohonnut lämpötila saattaa kiihdyttää metallien korroosiota tai jopa muuttaa eri metallien potentiaalia. (Andersson, 1; Suomen korroosioyhdistys 1988, 255.)

Hapettuminen on ongelma sekä teräksille että muoveille. Matalaseosteisen teräksen pinnan hapettuminen vastaa suojakalvon muodostavien metallien pinnan reaktiota,

mutta pinnan hapettumistuotteet ovat huokoisia eikä korroosioreaktio lakkaa. Muoveissa happi saattaa johtaa polymeeriketjujen hajoamiseen. Muoveihin happi imeytyy niiden permeabiliteetin eli kaasujen läpäisevyyden vuoksi. UV-säteily sekä korkea lämpötila voivat kiihdyttää hapen haitallista vaikutusta. Jotkut hapettavat kemikaalit, kuten kloori, saattavat saada aikaan vastaavan reaktion muovimateriaaleilla. (Seppälä 2005, 91, 119; Andersson, 2.)

Putkistojärjestelmissä voi esiintyä käyttöpainetason huomattavasti ylittäviä paineiskuja, jotka johtuvat esimerkiksi liian nopeasti suljetusta venttiilistä. Paineiskun suuruuteen ja etenemisnopeuteen vaikuttavat muun muassa materiaalin kimmomoduuli sekä putken halkaisijan ja seinämäpaksuuden suhde. Joustavuutensa ansiosta muoviputket kestävät hyvin paineiskuja. Iskun voima heikkenee joustavien seinämien ansiosta ja paineaallon nopeus on alhaisempi jäykkäseinäiseen teräsputkeen verrattuna. Esimerkiksi vesiputkissa, joiden halkaisijan ja seinämäpaksuuden suhde D/t on 10, etenee paineaalto teräsputkessa noin 1365 m/s ja PVC-putkessa noin 500 m/s. (Pulli 2009; 32, 88.)

Kuvassa 11 kuvataan eri materiaaleista valmistettujen putkistojen likimääräistä painoa sataa metriä kohti sekä muoveilla saavutettavaa massan vähennystä. Keskimäärin muoveista valmistetut putkistojärjestelmät painavat noin viidenneksen metalliputkiston painosta. Painosuhteen aleneminen suuremmilla putkihalkaisijoilla johtuu osaltaan materiaalien lujuusominaisuuksien sekä virtaavan nesteen aiheuttaman kuorman suhteesta. Putkiston paino on myös verrannollinen valmisteiden raaka-ainehintoihin (taulukko 4), kun otetaan huomioon tietyn tilavuuden aikaansaamiseksi vaadittava ainemäärä painon suhteen. Esimerkkinä materiaalien tiheyksistä mainittakoon teräs $7\,800\text{ kg/m}^3$ sekä suuritiheyspolyeteeni 950 kg/m^3 . (Georg Fischer 2010, Tuote-esite; Häkkinen 1999, 37; Seppälä 2005, 163 – 194.)

kg	Pipe diameter			
	d 25	d 50	d 110	d 160
Plastic	16	53	248	550
Carbon steel	119	233	737	1093
Stainless steel	79	197	505	1542
Copper	59	292	737	–
Savings plastic to steel	103	239	489	992

Kuva 11. Painovertailu eri materiaaleista valmistettujen, halkaisijaltaan erikokoisten 100 m putkistojen välillä (Georg Fischer 2010, Tuote-esite).

Taulukossa 4 kuvataan likimääräisiä raaka-aineiden suhteellisia hintoja. Taulukossa kuvatut GFRP ja CFRP tarkoittavat lasi- ja hiilikuituvahvisteisia polymeerivalmisteita. Teräksen hintatason muuttuminen vuoden aikana (2011 – 2012) on kuvattu kuvassa 12. Joidenkin muovien hinnat muuttuvat niiden valmistukseen käytetyn raakaöljyn hinnan mukaan (kuva 13). Valmiin ja asennetun tuotteen lopullinen hinta muodostuu kuitenkin monesta eri tekijästä, muun muassa valmistus-, kuljetus-, työvoima- ja asennuskustannuksista.. (Ashby & Jones 2011, 16; Häkkinen 1999, 38.)

Taulukko 4. Ohjeelliset raaka-aineiden hintakertoimet. Hiiliteräksen hintakerroin 100 = 500 \$/ t (LME 11.4.2012) (Ashby & Jones 2011, 16; London metal exchange)

Raaka-aine	Suht. Hinta
Valurauta	90
Hiiliteräs	100
Matalaseosteiset teräkset	200
polypropeeni	200
Polyeteeni HD	200
Polystyreeni	250
PVC	300
Polyesteri	500
Ruostumaton teräs	600
GFRP	1000
Titaaniseokset	2000
Työstetty kupari	2000
Työstetty messinki	2000
Nikkeli	6000
CFRP	20 000

Putkistojärjestelmän kokonaisloppukustannukset määräytyvät sen eliniän aikaisista investoinneista aina yksittäisen osion valmistuksesta huoltokustannuksiin. Voi olla vaikea määrittää, kuinka suurista laivan käyttöiän aikaisista kustannuksista putkisto-materiaalin valinnassa on kyse.

Metallisten putkien käytössä voi eroosio-, jännitys- tai galvaaninen korroosio johtaa siihen, että paikallisia korjauksia joudutaan suorittamaan jopa parin vuoden väliajoin. Kestävyyteen vaikutetaan eri suojausmenetelmin, jotka osaltaan tuovat oman lisänsä tuotteen lopulliseen hintaan. Esimerkiksi painolastiputkistoissa käytetyn galvanoidun teräksen sinkkipinnoite voi kulua loppuun ilman lisäsuojasta kymmenessä vuodessa. Muoviputken ulkopuolista suojausta vaaditaan lähinnä tietyn paloluokituksen saavuttamiseksi tai sähkönjohtavuuden parantamiseksi. Monet muut suojamenetelmät saadaan aikaiseksi jo materiaalin valmistuksen yhteydessä. Oikeita käyttöarvoja noudattamalla sekä oikein asennettuna muoviputki voi parhaimmillaan olla huoltovapaa koko sen suunnitellun eliniän ajan. (Hoàng & Lowe; Häkkinen 1999, 36–38.)



Kuva 12. Teräksen hintatasot aikavälillä 11.04.2011 – 11.04.2012 (London Metal Exchange).

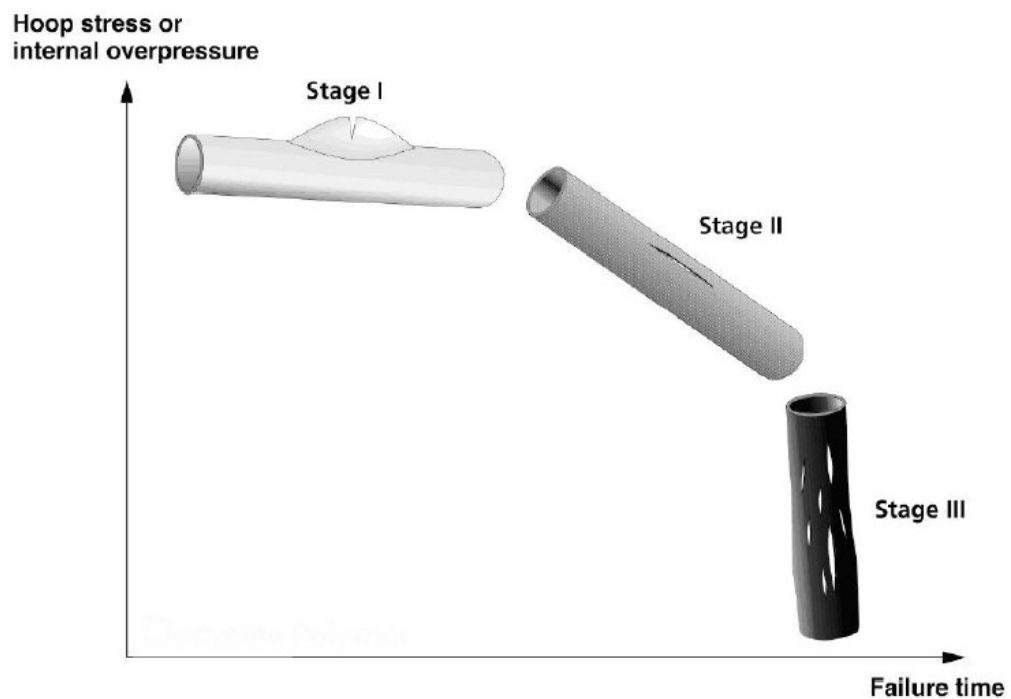


Kuva 13. Muovien hintaindeksin ja raakaöljyn hinnan kehitys 2000 – 2008 (Järvinen 2008, 17).

6 MUOVIPUTKIEN ELINKAARI

6.1 Mittaus ja määrittäminen

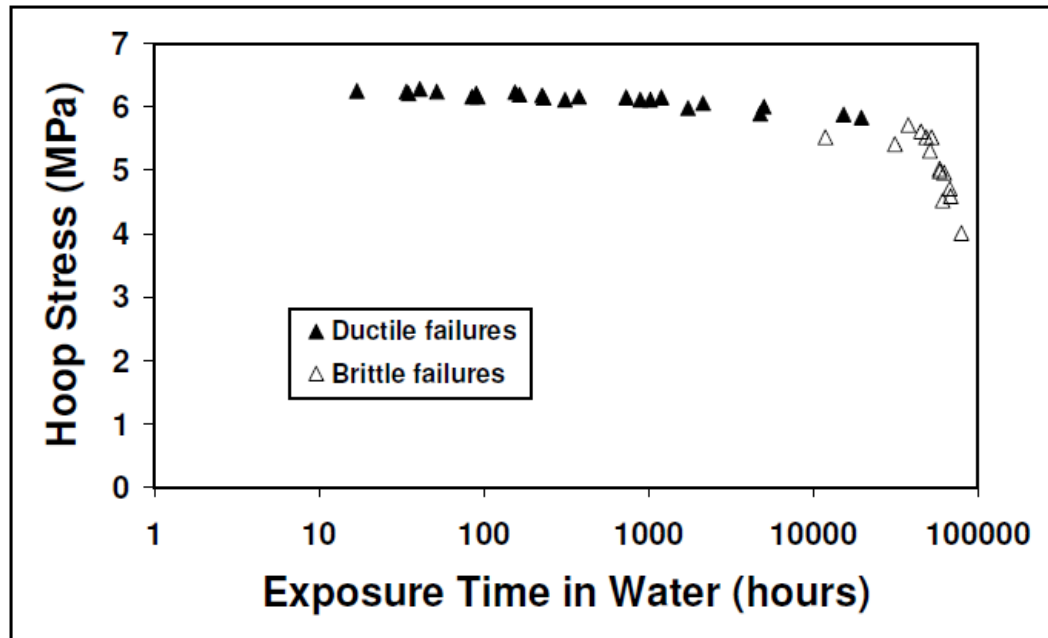
Oikein käytettyinä muoviputket ovat pitkäikäisiä. Valmistajien mainitsema suunniteltu kestoajat ovat usein 25 tai 50 vuotta. Eri putkivalmisteiden elinikä voidaan määrittää hydrostaattisella painekokeella. Kokeella voidaan myös yksittäisen puhtaan putken sijaan simuloida eri olosuhteiden, pintavikojen ja liitännätapojen vaikutusta materiaalin keston. Olosuhteita voidaan simuloida esimerkiksi suorittamalla koe 20:n, 60:n ja 80°C:n lämpötilassa. Koelaitteistona toimii istukka, johon mitattavat kohteet kiinnitetään ja joihin typpikaasun avulla paineistetaan vettä. Veden vaikutusten sijasta voidaan tutkia myös erilaisten liuosten ja kemikaalien vaikutusta. Tasaisen paineen avulla luodaan putkeen haluttu kehäjännitys, joka ajan kuluessa murtaa putken seinämän. Syntyneestä murtumasta voidaan päätellä, missä vaiheessa elinkaartaan materiaali on tietyissä olosuhteissa. Koekappaleiden yhteistuloksena materiaalin murtumiselle saadaan kolme eri tasoa (kuva 14). (Andersson, 1-5.)



Kuva 14. Periaatekuva muoviputken eliniän mittaamisesta kuormituksen mukaan (Hoàng & Lowe).

Ensimmäisen tason tapauksessa putki altistuu mekaaniselle ylikuormitukselle ja repeämän murtumatyyppi on sitkeämurtuma, joskin haurasmurtumaa saattaa esiintyä

valmistusvirheen tai materiaalin epäpuhtauden vuoksi. Toisen tason tapauksessa kappaleiden väliset murtuma-aikavälit lyhenevät ja putkien murtumatyyppi muuttuu mahdollisen muutosvaiheen jälkeen haurasmurtumaksi. Tason kolme tapauksessa putki on tullut kemiallisen kestävyytensä rajalle ja lähes riippumatta kehäjännityksestä se hajoaa haurasmurtumalla. (Andersson, 2.)



Kuva 15. Suurtiheyspolyeteeniputken (PE100) kestoikä 80 °C:n lämpötilassa. Pysty-akseli kuvaa putken kehäjännitystä ja vaaka-akseli aikaa tunteina (Hoàng & Lowe).

Kuvan 15 tilanteessa kuvataan Bodycote polymer Ab -yhtiön suorittaman käytännön PE100-putken kestoian määrittämissä tuloksia 80-asteisessa (°C) tislatussa vedessä. Mustat merkinnät kuvaavat kappaleiden sitkeämurtumaa (ductile) ja valkoiset haurasmurtumia (brittle). Kehäjännitys on sylinterimäisen kappaleen sisäisen paineen aiheuttama säteen suuntainen jännitys. Kaavassa (3) kehäjännitys σ_h [MPa] on riippuvainen kappaleen sisähalkaisijasta d [mm] seinämävahvuudesta t [mm] sekä sisäisestä paineesta p [MPa].

Taulukon 7 mittaus tilanteessa PE-100 putken ulkohalkaisija on 32 mm ja seinämävahvuus $t=3$ mm, joten putken sisähalkaisija $d=26$ mm. Kehäjännityksen avulla voidaan laskea koekappaleiden mittaamiseen käytetty sisäinen paine (kaava 4). Toisen tason alkaminen koekappaleissa on havaittu selkeästi noin 30 000 tunnin (n. 3,5 vuotta) kohdalla. Viimeiset koetulokset ovat noin 79 000 tunnin (n. 9 vuotta) jälkeen, jolloin putken murtumaan vaadittava sisäinen paine on pudonnut kaavan (4) mukaisesti las-

kettuna noin 0,9 MPa (9 bar) tasoon. Alhaisemmissa lämpötiloissa, 20 °C, 40 °C ja 60 °C, suoritetuissa kokeissa koekappaleissa esiintyi painetason laskua, mutta ei tason kaksi mukaista haurasmurtumaa. (Hoàng & Lowe.)

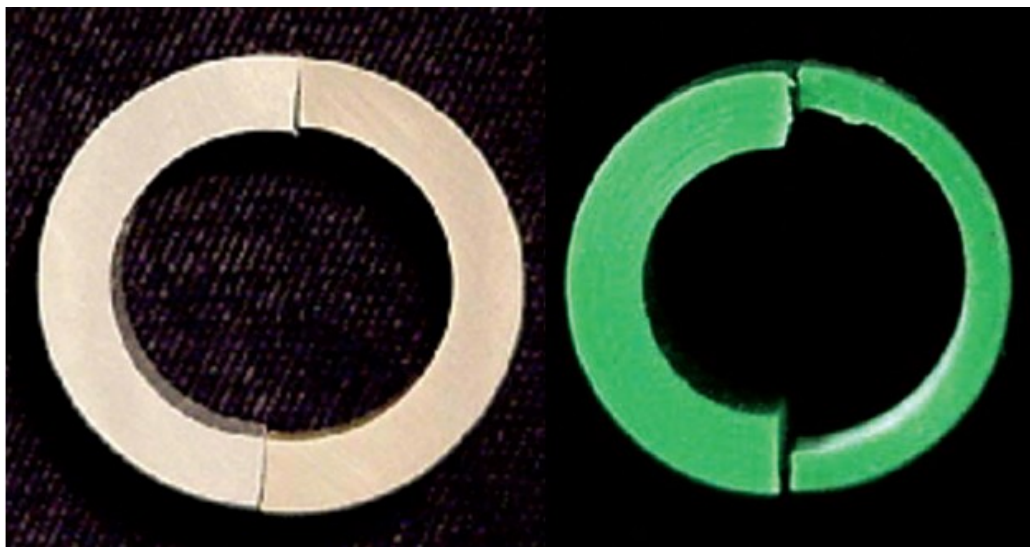
$$(3) \quad \sigma_h = \frac{p \cdot d}{2t}$$

$$(4) \quad p = \frac{\sigma_h \cdot 2t}{d} = \frac{6 \text{ MPa} \cdot 2 \cdot 3 \text{ mm}}{26 \text{ mm}} = 1,38 \text{ MPa} \approx 14 \text{ bar}$$

6.2 Muovirakenteen kestoikään vaikuttavat tekijät

Kuvan 15 mittaustulokset ovat yhdistelmä muovirakenteen kolmesta vanhenemislaidusta, joita ovat mekaaninen, fysikaalinen ja kemiallinen vanheneminen. Muovin fysikaalinen vanheneminen käsittää kappaleen rakenteen muutokset, kuten virumisen. Fysikaalinen vanheneminen ei siis koske polymeeriketjujen rakenteen muutoksia. Kemiallisen vanhenemisen tuloksena muovin molekyylirakenne muuttuu peruuttamattomasti. Molekyylirakenteen muutoksessa muovin polymeeriketjut hajoavat tai hajoittuvat. (Suojoki 2007, 3-6.)

Kemiallinen vanheneminen on usein muovin polymeeriketjujen hapettumisen tulosta. Hapettuminen voi käynnistyä lämmön, kemikaalin tai UV-säteilyn vaikutuksesta. Hapettumisen tuloksena esimerkiksi lämpimässä kloorivedessä saattaa muovin pintarakenne hajota (Kuva 12). Jotkut polymeeriketjutyypit ovat alttiita tietyille valon aallonpituuksille. UV-valon aallonpituus 280 – 400 nm saattaa monilla muoveilla vähintään kiihdyttää hapen vaikutusta, mutta voi myös itsessään hajottaa sekä heikentää polymeeriketjurakennetta. (Suojoki 2007, 5-6; Backman.)



Kuva 12. Lämpimän klooriveden vaikutus PVC-C- putkeen 23 vuoden käytön ja polypropeeniputkeen 7000 käyttötunnin jälkeen (Backman).

7 YHTEENVETO

Muoveilla ja metalleilla on selkeät eronsa sekä vahvuuksien että heikkouksien osalta. Muovien rakenteesta johtuen niiden ominaisuudet ovat hyvinkin paljon lämpötilasta riippuvaisia ja hiilivetyrakenteensa takia ne ovat syttyviä. Kemiallisen kestävyytensä ansiosta ne kuitenkin kestävät hyvin sellaisia vaihtelevia olosuhteita, joissa monet muut materiaalit pettävät. Muovien hyvistä ominaisuuksista kertovat osaltaan niiden laaja käyttö, esiintyminen ja yleistyminen jokapäiväisessä elämässä sekä koneenrakennuksessa. Erillisiin järjestelmiin ei työssä ole syvennytty, vaan oletuksena on, että oikean muovimateriaalin valinnalla voidaan muoviputkia käyttää lähes kaikissa rahti- ja risteilyalusten vedensiirtojärjestelmissä. Esimerkkinä erikoistuneemmasta järjestelmästä mainittakoon ABS:n ja PE100:n käyttö kylmälaitteiden putkimateriaalina.

Muoveihin verrattuna metallien lujuusominaisuudet muuttuvat vasta huomattavasti korkeammassa lämpötilassa. Kuitenkin metallien sähkökemiallisten ominaisuuksien ja aggressiivisen ympäristön yhteistuloksena saattaa niiden rakenteen heikentyminen johtaa lyhyessä ajassa vakaviin vaurioihin. Metallien laaja kirjo, lukemattomat hyvät ominaisuudet ja pitkät perinteet takaavat niiden toiminnan myös kaikista vaativimmissa olosuhteissa.

Työssä olevat tiedot on perusteiden osalta kerätty alan oppikirjoista ja putkistokäyttöä käsiteltäessä valmistajien tuoteselosteista sekä tutkimuslaitosten raporteista.

Uusien materiaalien yleistymisen myötä on niiden parissa työskentelevän henkilöstön sekä merenkulkualaa opiskelevien hyvä tietää vähintäänkin perustiedot muovien ominaisuuksista ja käyttömahdollisuuksista. Merenkulkualan koulutuksessa muovit putkistomateriaaleina ovat vielä vähäisessä osassa; työn tavoitteena onkin toimia tukena opetuksessa ja oppimateriaalina.

Työn tarkoituksena on ollut kerätä perustietoa nykyisin putkistokäytössä olevien muovien ominaisuuksista. Tarkasteltavana on myös ollut, kuinka ja miksi muovit soveltuvat tiettyssä käytössä perinteisten materiaalien korvaajiksi. Aihe on laaja eikä voida olettaa, että kaikkia materiaalien ja olosuhteiden välisiä ominaisuuksia olisi

työssä käsitelty. Ehdottoman vastauksen tarjoamisen sijaan työ saattaisi toimia perustiedon lähdemateriaalina tai kannustimena aiheen tarkempaan tarkasteluun.

LÄHTEET

Andersson, U. Which factors control the lifetime of plastic pipes and how the lifetime can be extrapolated. Bodycote Polymer Ab. (Viitattu 6.4.2012). Saatavissa:

<http://www.polymer.exova.com/Downloads/Papers/PPXI.pdf>

Ashby, M.F. & Jones, D.R.H. 2011. Engineering materials 1: an introduction to properties, applications, and design, London: Elsevier.

Backman, A. L. Effects of chlorinated water on polymeric water distribution systems. Tutkimusraportti. Lubrizol. (Viitattu 15.4.2012). Saatavissa:

<http://www.lubrizol.com/BuildingSolutions/TechnicalReports/Effects-of-Chlorinated-Water.pdf>

Det norske veritas. 2011. Rules for classification of ships – piping systems. (Viitattu 17.4.2012). Saatavissa: [http://exchange.dnv.com/publishing/RulesShip/2012-](http://exchange.dnv.com/publishing/RulesShip/2012-01/ts406.pdf)

[01/ts406.pdf](http://exchange.dnv.com/publishing/RulesShip/2012-01/ts406.pdf)

Epcos Ltd. PVC-U Metric Pipes, Fittings & Valves Technical Information. (Viitattu 5.4.2012). Saatavissa: http://www.epco-plastics.com/PVC-U_metric_technical.asp

Future Pipe Industries. GRE pipe systems in marine industry. (Viitattu 23.3.2012). Saatavissa:

<http://www.futurepipe.com/downloads/GREPipeSystemsMarineIndustryJune2010.pdf>

Georg Fischer Piping System presents non-corroding solutions at Seatrade Cruise Shipping 2011. Lehdistötiedote 14.3.2011. Georg Fischer Piping Systems Ltd. (Viitattu 10.3.2012). Saatavissa:

<http://www.piping.georgfischer.com/go/B3ECD06A19993E1D34EAF0F1D279FF43/>

Georg Fischer. Product range international 2010 – Plastic piping systems for ship building and ship repair. Esite. (Viitattu 18.4.2012). Saatavissa:

www.piping.georgfischer.com/go/?action=DocDownload&doc_id=47055

Hoàng, E.M. & Lowe, D. Lifetime prediction of a blue PE100 water pipe. Manchester: Bodycote PDL. (Viitattu 6.4.2012). Saatavissa:

http://www.ppxiv.com/posters/hoang_poster.pdf

Häkkinen, P. 1999. Laivan putkistot, Otaniemi: Teknillinen korkeakoulu.

Häkkinen, P. 1993. Laivan koneistot, Espoo: Teknillinen korkeakoulu.

IMO – Resolution A.753 (18) – Guidelines for the application of plastic pipes on ships. 1993. (Viitattu 7.3.2012) Saatavissa:

http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=22601&filename=A753%2818%29.pdf

IPS Flow Systems. Products by material. (Viitattu 14.3.2012). Saatavissa:

<http://www.ipsflowsystems.com/productrange.htm>

Järvinen, P. 2000. Muovin suomalainen käsikirja, Muovifakta Oy.

Järvinen, P. 2008. Uusi muovitieto, Söderkulla: Muovifakta.

Kouvo, S. 2003. Prosessiparametrien vaikutus polymeerien diodilaserhitsaukseen, diplomityö: Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Kurri, V., Malén T., Sandell, R. & Virtanen, M. 2002. Muovitekniikan perusteet, Helsinki: Opetushallitus.

Lepola, P. & Makkonen, M. 2004. Materiaalit ja niiden käyttö, Helsinki: WSOY Konetekniikka.

London metal exchange. LME steel billet. (Viitattu 12.4.2012). Saatavissa:

<http://www.lme.com/steel/index.asp>

Metalliteollisuuden Keskusliitto, MET. 2001. Raaka-ainekäsikirja 3: kuparimetallit, Helsinki: Metalliteollisuuden Keskusliitto, MET

Muovimuotoilu. Opetusmateriaali. (Viitattu 19.3.2012). Saatavissa:

<http://www.muovimuotoilu.fi/>

Muoviteollisuus Ry. Sähkömuhvihitsausohje. (Viitattu 19.3.2012). Saatavissa: <http://www.pipelife.fi/media/fi/Asennusohjeet/Sahkomuhvihitsaus/PE-putkien-shkhitsaus-painettu-2011-05-12.pdf>

Pulli, M. 2009. Virtaustekniikka: vedensiirtojärjestelmien toiminnallinen suunnittelu nykyaikaisin menetelmin, Tampere: Tammertekniikka.

Räisänen, P. 2000. Laivatekniikka: modernin laivarakennustekniikan käsikirja. Turun ammattikorkeakoulu.

Saarela, O., Airasmaa, I., Kokko, J., Skrifvars, M. & Komppa, V. 2003. Komposiittirakenteet, Helsinki: Muoviyhdistys.

Seppälä, J. 2005. Polymeeritekniikan perusteet, Helsinki: Otatieto.

Steinemann, R. 2003. Plastic piping systems in shipbuilding – the natural development of emerging technology, seminaarimateriaali.

Suojoki, M. 2007. UV-valon ja lämmön vaikutukset polyolefiineihin. Opinnäytetyö. Lahden ammattikorkeakoulu. (Viitattu 15.4.2012). Saatavissa: <https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/11680/2007-04-27-13.pdf?sequence=1>

Suomen korroosioyhdistys – SKY ry. 1988. Korroosio-käsikirja, Helsinki: Suomen korroosioyhdistys/ SKY.

Vesi- ja viemärlaitosyhdistys. 2009. Kiinteistöjen metallisten käyttövesiputkistojen ja -laitteistojen kestävyys, tiivistelmäraportti. (Viitattu 26.3.2012). Saatavissa: www.vvy.fi/files/304/FCG_kuparikorroosio_tiivistelmaraportti.pdf

Vuorinen, A. 1977. Vesijohtoputkiston sisäpuolinen korroosio, Helsinki: Vesihallitus.

VTT. 2005. Fire endurance test on water-filled plastic piping, tutkimusraportti. (Viitattu 26.3.2012). Saatavissa: http://www.strongbridge.us/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=28&Itemid=126

Appendix 4
Fire endurance requirements matrix

Piping systems		Location										
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
		Machinery spaces of category A	Other machinery spaces and pump-rooms	Cargo pump-rooms	Ro-ro cargo holds	Other dry cargo holds	Cargo tanks	Fuel oil tanks	Ballast water tanks	Cofferdams, void spaces, pipe tunnels and ducts	Accommodation, service and control spaces	Open decks
1	CARGO (FLAMMABLE CARGOES f.p. ≤ 60°C) Cargo lines	NA	NA	L1	NA	NA	0	NA	0 ¹⁰	0	NA	L1 ²
2	Crude oil washing lines	NA	NA	L1	NA	NA	0	NA	0 ¹⁰	0	NA	L1 ²
3	Vent lines	NA	NA	NA	NA	NA	0	NA	0 ¹⁰	0	NA	X
4	INERT GAS Water seal effluent line	NA	NA	0 ¹	NA	NA	0 ¹	0 ¹	0 ¹	0 ¹	NA	0
5	Scrubber effluent line	0 ¹	0 ¹	NA	NA	NA	NA	NA	0 ¹	0 ¹	NA	0
6	Main line	0	0	L1	NA	NA	NA	NA	NA	0	NA	L1 ⁶
7	Distribution lines	NA	NA	L1	NA	NA	0	NA	NA	0	NA	L1 ²
8	FLAMMABLE LIQUIDS (f.p. > 60°C) Cargo lines	X	X	L1	X	X	NA ³	0	0 ¹⁰	0	NA	L1
9	Fuel oil	X	X	L1	X	X	NA ³	0	0	0	L1	L1
10	Lubricating oil	X	X	L1	X	X	NA	NA	NA	0	L1	L1
11	Hydraulic oil	X	X	L1	X	X	0	0	0	0	L1	L1
12	SEAWATER ¹ Bilge main and branches	L1 ⁷	L1 ⁷	L1	X	X	NA	0	0	0	NA	L1
13	Fire main and water spray	L1	L1	L1	X	NA	NA	NA	0	0	X	L1
14	Foam system	L1	L1	L1	X	NA	NA	NA	NA	0	L1	L1
15	Sprinkler system	L1	L1	L3	X	NA	NA	NA	0	0	L3	L3
16	Ballast	L3	L3	L3	L3	X	0 ¹⁰	0	0	0	L2	L2
17	Cooling water, essential services	L3	L3	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	NA	L2

		Location										
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
		Machinery spaces of category A	Other machinery spaces and pump-rooms	Cargo pump-rooms	Ro-ro cargo holds	Other dry cargo holds	Cargo tanks	Fuel oil tanks	Ballast water tanks	Cofferdams, void spaces, pipe tunnels and ducts	Accommodation, service and control spaces	Open decks
18	Tank cleaning services fixed machines	NA	NA	L3	NA	NA	0	NA	0	0	NA	L3 ²
19	Non-essential systems	0	0	0	0	0	NA	0	0	0	0	0
20	FRESH WATER Cooling water essential services	L3	L3	NA	NA	NA	NA	0	0	0	L3	L3
21	Condensate return	L3	L3	L3	0	0	NA	NA	NA	0	0	0
22	Non-essential systems	0	0	0	0	0	NA	0	0	0	0	0
23	SANITARY/DRAINS/ SCUPPERS Deck drains (internal)	L1 ⁴	L1 ⁴	NA	L1 ⁴	0	NA	0	0	0	0	0
24	Sanitary drains (internal)	0	0	NA	0	0	NA	0	0	0	0	0
25	Scuppers and discharges (overboard)	0 ^{1,8}	0 ^{1,8}	0 ^{1,8}	0 ^{1,8}	0 ^{1,8}	0	0	0	0	0 ^{1,8}	0
26	SOUNDING/AIR Water tanks/dry spaces	0	0	0	0	0	0 ¹⁰	0	0	0	0	0
27	Oil tanks (f.p. > 60°C)	X	X	X	X	X	X ³	0	0 ¹⁰	0	X	X
28	MISCELLANEOUS Control air	L1 ⁵	L1 ⁵	L1 ⁵	L1 ⁵	L1 ⁵	NA	0	0	0	L1 ⁵	L1 ⁵
29	Service air (non-essential)	0	0	0	0	0	NA	0	0	0	0	0
30	Brine	0	0	NA	0	0	NA	NA	NA	0	0	0
31	Auxiliary low-pressure steam (≤ 7 bar)	L2	L2	0 ⁹	0 ⁹	0 ⁹	0	0	0	0	0 ⁹	0 ⁹

ABBREVIATIONS:

- L1 Fire endurance test (appendix 1) in dry conditions, 60 min
- L2 Fire endurance test (appendix 1) in dry conditions, 30 min
- L3 Fire endurance test (appendix 2) in wet conditions, 30 min
- 0 No fire endurance test required
- NA Not applicable
- X Metallic materials having a melting point greater than 925°C